This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

From the Library of
PROFESSOR FRITZ WARMOLT WENT
Presented to the
Dudley Herbarium of Stanford University
September 20th, 1985

STANFORD UNIVERSITY
LIBRARIES

DR. F. W. WENF

STUDIEN

ÜBER

PROTOPLASMAMECHANIK.

STUDIEN

ÜBER

PROTOPLASMAMECHANIK

VON

DR. G. BERTHOLD,

A. O. PROFESSOR DER BOTANIK UND DIRECTOR DES PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN.

MIT 7 TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1886.

VORWORT.

Mit den auf den nachfolgenden Blättern niedergelegten Untersuchungen wurde begonnen im Jahre 1882 und mit der Sammlung des Thatsachenmaterials im wesentlichen bis gegen Ende des Jahres 1884 abgeschlossen. Die Fertigstellung des Manuskripts hat sich aus mancherlei Gründen — theils äusserer, theils innerer Natur — bis jetzt verzögert, nicht zum Nachtheil des Ganzen, wie ich hoffe und wünsche.

Beim Abschluss desselben drängt es mich auch an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen Sr. Excellenz dem Cultusminister Herrn Dr. v. Gossler, sowie der hohen Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, welche durch gütige Unterstützung mir im Frühjahr 1884 einen längeren Aufenthalt in der zoologischen Station zu Neapel ermöglichten, um dort an lebenden marinen Objecten eine Reihe von Punkten eingehender untersuchen, resp. die Resultate früherer eigener Studien daselbst neu revidiren und erweitern zu können.

Göttingen, Pfingsten 1886.

INHALTSVERZEICHNISS.

Seite

Einleitung 1

Erstes Kapitel: **Der geschichtete Bau des Zellkörpers** 12

Aeltere Angaben von Pringsheim, Strasburger u. s. w. 12

Einleitende Uebersicht 13

Auch die Zellmembran ist geschichtet und dem Plasma eingelagert . 15

Verallgemeinerung der erhaltenen Resultate 17

Wandbeleg oft ungleichmässig entwickelt 18

Symmetrieverhältnisse in schaumigen und gerüstförmigen (polycentrischen) Plasmakörpern 18

Grössere Plasmaansammlungen im Zellraum 20

Oxalat- Raphiden-, Cystolithenzellen 20

Complicirtere Symmetrieverhältnisse 21

„Normal“ und „invers“ geschichtete Plasmakörper 21

Können gewisse Schichten fehlen? 22

Kritische Besprechung älterer Angaben und Auffassungen, weitere Folgerungen 23

An der freien Oberfläche die Membran dem Plasma anscheinend aufgelagert 23

Inhalt und Ausbildung der Intercellularräume 24

Intercellulare Secretbehälter sind schizogener Natur 24

„Einzellige“ Drüsen der Laurineen, Piperaceen u. s. w. 25

Das Secret der Intercellularräume vielfach im normalen Plasma . . . 27

Der intracellulare Milchsaft ein Plasmakörper 28

Inter- und Intracellulare Milchsäfte 30

„Plasmatische“ Auskleidung der Intercellularen 32

Intercellulare Fäden bei den Marattiaceen 36

Symmetrieverhältnisse der die Intercellularräume umgebenden Membranpartien 38

Auch an der freien Aussenfläche die Membran dem Plasma vermuthlich nicht „aufgelagert“ 39

Feinerer Bau der Cuticula 40

Ausbildung der Schichten nach der Zellhöhlung zu 41

Bei Diatomeen muss ausserhalb der Membran Plasma vorhanden sein 42

Membran der Rhizopoden und Radiolarien 42

Cuticula der ciliaten Infusorien 42

Nähere Präcisirung des Begriffes der Zelle 44

Seite

Zweites Kapitel: Feinerer Bau, physikalische Natur und Organisation des Zellkörpers 46
Der Zellkern 46
Kerngerüst 46
Nucleolus 47
Grundmasse 48
Consistenz 48
Chemische Zusammensetzung 49
Kernmembran 50
Die Farbkörper 50
Nomenclatur 51
Grana 51
Grundmasse 52
Stärkebildner 52
Pyrenoide 52
„Oel" in Farbkörpern 53
Desorganisationserscheinungen 54
Der Zellsaft 55
Ausscheidungen in ihm 55
Gerbstofflösungen 56
Anmerkung über „Phaeophyceenstärke" 57
Krystalloide 57
Aleuronkörner nebst Einschlüssen 58
Kalkoxalat- und Gypskrystalle 58
Die Grundmasse 59
Einlagerungen in derselben 59
„Mikrosomen" 61
Die Grundmasse nicht netzförmig gebaut 61
Schichtung 63
Der Plasmakörper eine Emulsion 64
Organisationsmechanik 64
Die Differenzirungsproducte sind im allgemeinen Gemische . . . 67
Vertheilung der Substanzen zwischen ihnen 67
„Reaction" des Plasma 68
Aenderungen der Organisation 68
Abtödtung 69
Einschachtelung der Organe ineinander 69
Ihre Trennung voneinander — membranöse Schichten 70
Besprechung einiger Ausführungen von Sachs 70
„Molecularstructur" des Plasma 71
Wachsthum desselben 71
Mechanik der Reizübertragungen durch äussere Agentien 72
Relativer Werth der im Plasma vorhandenen Substanzen 74
Bedeutung der einzelnen Organe 76
Contractile Vacuolen 77
Zellsaft 78
Wie ist das Plasma zu definiren? 78
Wie die Begriffe „organisirt, Organismus"? 80
Quellung 80
Das Wesen des Organismus liegt nicht in seiner molecularen Structur 81

Seite

Mechanik der Vererbung und Anpassung 82
Rhythmik der Lebensvorgänge 83

Drittes Kapitel: **Die Formbildung und Ortsbewegung membranloser Plasmakörper. Innenbewegungen des Protoplasma** . . 85
Hinstreben zur Kugelform 85
Verhalten gestreckter, cylindrischer Plasmakörper nach Ablösung von der Membran 86
Physikalische Erörterungen — Segmentirung von Flüssigkeitscylindern 87
Die lebenden Objecte verhalten sich genau ebenso 89
Die amöboiden Formänderungen und Bewegungen des Plasma 90
Mechanik der Ausbreitung flüssiger Massen 91
Gleichmässige Ausbreitung von Plasmamassen 93
Ungleichmässige Ausbreitung derselben 93
Vorgänge beim Niedersetzen der Algen- und Pilzschwärmer 94
Gestalt der einfachen Amöbe, ihre Ortsbewegungen 95
Nachahmung derselben 96
Grössere amöboide Plasmamassen 97
Leblose Flüssigkeiten mit entsprechendem Verhalten 97
Mechanik der Formänderungen 98
Neubildung und Rückbildung von Pseudopodien 99
Aethalium septicum nach Stahl und Bengt Jönsson 100
Analoge Erscheinungen bei leblosen Gemischen 101
Die Pseudopodien werden ausgezogen, nicht ausgestreckt 102
Mechanik der Pseudopodienbildung frei in das Medium hinein . . . 103
Myelinbildungen 105
Contractilität 106
Verschmelzung von Pseudopodien und Plasmakörpern 107
Nahrungsaufnahme und Auswahl 108
Innenbewegungen in amöboiden Plasmakörpern 109
Pelomyxa palustris 109
Mechanik der Bewegungen 110
Analoges Verhalten von Emulsionstropfen, Emulsionsbewegungen . . 111
Die Innenbewegungen der Amöben nicht damit zu identificiren . . 113
Polare Gegensätze im Amöbenkörper, Wechsel der Polarität 114
Protoplasmaströmungen in behäuteten Zellen 115
Es sind Emulsionsbewegungen 115
Glitschbewegung 116
Nachahmung derselben 117
Circulation — Thatsächliches 117
Rotation 118
Springbrunnenartige Rotation 119
Plasmabewegung in den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis . . . 119
Richtung der Rotationsströme 121
Drehung der Rotationsebene bei den Characeen 121
Auch der Zellsaft bewegt sich in gleichem Sinne 122
Sitz der bewegenden Kraft 122
Erklärung gewisser auffallender Erscheinungen bei Nitella 123
Die bewegenden Kräfte nicht elektrischer Natur 124
Ortsbewegung der Sporen von Erythrotrichia 125
Bewegung der Diatomeen 127
Bewegung der Schwärmsporen 128

Seite

Viertes Kapitel: Die Symmetrieverhältnisse in der Zelle 130
Theoretische Erörterungen 131
Schichtung der Grundmasse des Plasmakörpers 139
In und um einzelne Organe 139
Stärkehüllen um Pyrenoide und Kerne 139
Erscheinungen bei Diatomeen und Desmidieen 140
Beispiele verschiedener Symmetrieverhältnisse von Zellen 140
Symmetrieverhältnisse in polycentrischen Plasmakörpern 144
Vertheilung der Plasma-Fäden und Platten 144
Polycentrische Symmetrie dominirend 147
Saprolegniafäden mit Olpidiopsis 148
Wechsel der Symmetrieverhältnisse 149
Eigenbewegungen von Organen 150
Einfluss äusserer Factoren auf die Zellsymmetrie 150
Wie ist der Plasmakörper nach aussen und gegen den Zellsaft abgegrenzt? 151
Neuere Ansichten von de Vries — die „Wand der Vacuolen“ . . 152
Wie verhalten sich in dieser Beziehung die einzelnen Organe? 154
Die Grenzschicht ist die diosmotisch maassgebende 154

Fünftes Kapitel: Die Gestalt der morphologischen Bestandtheile der Zelle. Vermehrung derselben 156
Formen der Chlorophyllkörper 156
Tropfenformen bei höheren Pflanzen 156
Streckung, Spindelformen 157
Polygonale Abplattung 158
Amöboide Formen 158
Farbkörper der Algen 159
Formen des Zellkernes 163
Formen des Saftraumes 165
Vermehrung der Chlorophyllkörper 167
Die Farbkörper der Florideen 172
Weitere Einlagerungen im Plasma 175
Die directe Theilung des Zellkernes 175

Sechstes Kapitel: Zell- und Kerntheilung 177
Einleitende Uebersicht 177
Gesammtverlauf der Umlagerungsvorgänge in den Zellen während der Theilung 181
In befruchteten thierischen Eiern 181
Bei Cladophora 186
In den Pollenmutterzellen von Tradescantia virginica 187
In den Sporen von Equisetum arvense 188
Abnorme Entwicklungsvorgänge in älteren Sporen 191
Bei anderen Objecten 192
Nähere Einzelheiten 193
Theilung des Zellkernes 193
Knäuelstadium 194
Kernspindel u. s. w. 199
Längstheilung der Fadensegmente u. s. w. 202
Bildung der Tochterkerne 205
Einwanderung des Plasma zwischen dieselben, Zellplattenbildung . 206
Ausbildung der neuen Membran, „Mikrosomen“ 208
Bewegungen der Kerne dabei 210

Seite

Simultane Vieltheilung von Zellen 212
Anlage des Endosperms 212
Viertheilung der Sporen- und Pollenmutterzellen 216
Theilung von Craterospermum 217

Siebentes Kapitel: **Theilungsrichtungen und Theilungsfolge. Definitive Ausgestaltung des Zellnetzes** 219
Charakter des pflanzlichen Zellgewebes, „künstliche Zellgewebe“ 219
Princip der kleinsten Flächen 220
Anordnung und Form der Flächen minimae areae bei Zertheilung verschiedener Körperformen 220
Halbirung von Würfel- und Parallelepipedon 221
Ungleichtheilung derselben 223
Andere Körperformen 225
Abtrennung von Ecken 226
Schiefwinkliger Ansatz der Lamellen 228
Vergleichung der Resultate mit den wirklich vorkommenden Theilungsrichtungen 229
Theilungsrichtungen und Theilungsfolge in „wachsenden Räumen“ . . . 232
Wachsthum nur peripherisch und gleichmässig 233
Wachsthum nur peripherisch aber ungleichmässig, Vegetationspunkte 236
Es findet auch intercalares Wachsthum statt 241
Vergleich mit wirklich vorkommenden Fällen 244
Das Princip der rechtwinkligen Schneidung von Sachs 252
Definitive Ausgestaltung des succedan entstandenen pflanzlichen Zellnetzes 255

Achtes Kapitel: **Innere Wandskulpturen. Mechanik der Formbildung behäuteter Zellen** 258
Zur Ausbildung innerer Wandskulpturen polycentrische Plasmasymmetrie erforderlich 258
Vertheilung derselben 259
Entwicklungsgeschichtliches 260
Formverhältnisse 262
Formausgestaltung behäuteter Zellen 265
Verhalten des Plasmakörpers an sich vorwölbenden Zellpartien . . 266
Bau der Zellmembran am Vegetationspunkte 270
Die entstehenden Zellformen 271
Lage der Vegetationszonen bei intercalarem Wachsthum, Bau der Membran 274
Formen der Epidermiszellen 277
Beeinflussung durch äussere Agentien 281

Neuntes Kapitel: **Freie Zellbildung** 287
Vollzellbildung bei Algen und in Pollen- und Sporenmutterzellen . . . 288
Besondere Besprechung von Vaucheria 291
und Ulothrix 295
Es entstehen mehrere freie Zellen 297
Periplasma wird gebildet 297
Ascomyceten u. s. w. 298
Grüne Algen (Cladophora, Bryopsis, Botrydium u. s. w.) 300
Formbildung der entstehenden Zellen 305
Entwicklung der Spermatozoen von Chara 306

Seite

Periplasma fehlt 308
Bildung der Oosphären und Schwärmer bei Saprolegnia 308
Halosphaera 311
Büsgen's Angaben über die Entwicklung des Phycomyceten-Sporangiums 312
Die zuletzt behandelten sind abgeleitete Fälle 313
Ausbildung von Skulpturen auf den Membranen frei entstandener Zellen 314
Eier von Peronospora 316
Zygoten von Spirotaenia und Cosmarium 317
Ascosporen von Peziza 318
Sporen von Lycopodium clavatum 320
Pollenkörner 321
Sporen von Lebermoosen und Gefässkryptogamen 323

EINLEITUNG.

Je mehr es der Forschung in den letzten Jahrzehnten gelang, tiefer in die Probleme der biologischen Wissenschaften einzudringen, um so klarer hat es sich gezeigt, dass fast alle in letzter Instanz auf Protoplasmaprobleme zurückführen. Diese sind aber im Grunde überall dieselben, mag es sich um die complicirt gebauten höheren Organismen oder um die niedrigsten Protozoen handeln. Mit der einfachst organisirten Amöbe und ihren Lebenserscheinungen sind alle fundamentalen Probleme des Lebens schon gegeben und ein tieferes Eindringen in die allgemeine Lebensmechanik eines höheren Organismus ist nicht möglich, so lange uns die der Amöbe noch unverständlich ist.

Nachdem um die Mitte dieses Jahrhunderts die bedeutendsten Vertreter der biologischen Wissenschaften, an ihrer Spitze Mohl, Nägeli, Pringsheim, de Bary, Max Schultze u. A. sich an der Lösung der Protoplasmaprobleme versucht hatten, war die systematische Forschung in dieser Richtung eine Zeit lang durch die mehr und mehr in den Vordergrund getretenen entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen zurückgedrängt worden. Die Aufschlüsse, welche diese letzteren für die nähere Kenntniss des lebenden Substrates der Zelle ergaben, waren aber wenig belangreich. Die Zelle galt bei diesen Untersuchungen wesentlich nur als Raumelement, als Baustein des Organismus, und man war in erster Linie bestrebt, die Gesetze klar zu legen, nach denen diese Elemente sich aneinander fügten, zum Ganzen zusammenordneten.

Die Frucht dieser Untersuchungen ist eine Reihe empirischer Regeln über den Aufbau des Zellnetzes im Organismus gewesen, zu deren wissenschaftlicher Begründung man wieder die specifischen Eigenschaften des lebenden Substrates der Zellen herbeizuziehen genöthigt war.

In gleicher Weise hat sich aber auch die rein physiologische Forschung überall auf das Protoplasma verwiesen gesehen, wo sie zu einer wissenschaftlichen Erklärung der Thatsachen vorzudringen bestrebt war.

So hat man sich denn seit einiger Zeit mit erneutem Eifer dem Studium des Protoplasmakörpers selber wieder zugewandt.

Von morphologischer Seite war man bestrebt mit Hülfe der mehr und mehr verbesserten Instrumente und Untersuchungsmethoden in das

feinere Detail der Organisation und der Bauverhältnisse des Plasmaleibes einzudringen. Einzelne besonders hervortretende Organe desselben, der Zellkern, die Chlorophyllkörper sind es vorwiegend gewesen, denen sich zunächst das eingehende Studium zuwandte. In ganz unvermutheter Weise fand man bei beiden sehr constante und auffallend complicirte Organisationsverhältnisse und Lebenserscheinungen. Trotz mancher weiteren Untersuchungen nach dieser Richtung ist bisher eine allseitige und gleichmässige Klarlegung des Baues und der Organisation des gesammten Plasmakörpers noch nicht erzielt. Es erklärt sich das leicht aus dem Umfang und der Schwierigkeit der betreffenden Probleme, welche Umstände auch begreiflich machen, dass die Ansichten augenblicklich noch in manchen Beziehungen in so fundamentaler Weise von einander abweichen und bisher noch so Vieles discutabel geblieben ist. Der Grund dafür liegt allerdings zum grossen Theil auch darin, dass es sich bei diesen Fragen so häufig um Feststellung von Organisationsverhältnissen handelt, die an der Grenze der Leistungsfähigkeit unserer Instrumente und Methoden liegen, so dass die von den Autoren vertretenen Ansichten nicht selten mehr das Resultat theoretischer Voraussetzungen und Ueberlegungen als der directen Beobachtung gewesen sind.

Was die mehr physiologische Seite der Protoplasmaprobleme anbetrifft, so waren die aufstossenden Fragen natürlich theils mehr chemischer, theils mehr physikalischer Natur, je nachdem es sich um das Verständniss des Stoffwechsels, oder des Kraftwechsels im Organismus handelte.

Dass die chemische Mechanik im Organismus dieselbe sein werde, wie bei allen anderen chemischen Vorgängen, darüber hat unter den Vertretern der physiologischen Chemie volle Uebereinstimmung geherrscht, seit es gelungen ist, in den Naturwissenschaften mit den unklaren und mystischen vitalistischen Vorstellungen früherer Zeiten aufzuräumen.

Es waren die Detailfragen, deren enorme Complication hier zum grossen Theil bis auf den heutigen Tag der Forschung unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstellte, nicht die Unsicherheit hinsichtlich der allgemeinen Auffassung der Erscheinungen.

Die Analyse weist im Protoplasma eine Reihe von Elementen und Verbindungen nach. Die experimentirende Ernährungsphysiologie zeigte, welche von den Elementen dem Organismus zu seinem Gedeihen nothwendig geboten werden müssen, und in welcher Form. Aber sie war bisher noch in sehr ungenügendem Masse im Stande, die Einzelheiten des Chemismus näher aufzudecken, festzustellen, wie die Umsetzungen verlaufen, welcher Werth den einzelnen gefundenen Substanzen zuzuschreiben ist u. s. w. Einzelne Punkte sind hier mehr oder weniger klar gelegt, in ihrer Allgemeinheit haben die physiologischen Chemiker

den grössten Theil der fundamentalen Fragen noch nicht zu beantworten vermocht.

Aber der Wunsch nach voller Einsicht und logischer Abrundung unserer Vorstellungen nach dieser Richtung haben dahin geführt, dass in der letzten Zeit diese fundamentalen Fragen von verschiedenen Seiten mit Eifer aufgegriffen und discutirt worden sind, wobei in mehr oder weniger ausführlich ausgesponnenen Hypothesen und Theorien die Grenzen des thatsächlich Bekannten und Feststellbaren weit überschritten wurden.

So ist neuerdings von verschiedenen Seiten das Protoplasma für „lebendes Eiweiss" erklärt worden, in rein dogmatischer Weise, denn die physiologische Chemie zeigte bisher immer in demselben ein höchst complicirtes Gemenge der verschiedenartigsten Substanzen, unter denen Eiweisskörper allerdings nie fehlen, deren relativen Werth und Bedeutung für den Chemismus sie im Einzelnen aber noch nicht festzustellen vermochte. Durch die obige Definition werden aber alle anderen Substanzen als nebensächlich für den Bestand und Chemismus des Protoplasma erklärt, zu Producten des Eiweisses gemacht.

Als „lebend" wurde hierbei das Eiweiss des Protoplasma bezeichnet, weil es im isolirbaren, „todten" Zustande die Eigenschaften und Fähigkeiten nicht zeigte, die es in der lebenden Zelle nothwendig besitzen musste, wenn es in ihr Alles das leisten sollte, was die obige Definition von ihm verlangte. Wodurch sich das „lebende" von dem „todten" Eiweiss unterscheide, blieb freilich räthselhaft.

Schwierigkeiten ganz anderer Art stellten sich in den Weg, wo es sich darum handelte, den Kraftwechsel im Organismus, also die Mechanik der Formausbildungs- und Bewegungserscheinungen desselben aufzuklären.

Auch hier konnte es bei klarer naturwissenschaftlicher Auffassung nicht in Frage stehen, dass dieselben voll und ganz durch die mit dem stofflichen Substrat des Organismus gegebenen, ihm anhaftenden physikalischen Kräfte bedingt sein müssten. Denn wenn auch die organischen Formen die Producte eines langen historischen Entwicklungsprocesses sind, so sind sie doch in jedem Augenblick nur das Product der jetzt gerade vorhandenen Substanzen und der diesen zukommenden Kräfte. Der Zusammenhang der aufeinanderfolgenden Formen und Entwicklungszustände kann unmöglich anders als durch die im Verlauf des Chemismus im Organismus auseinander hervorgehenden Substanzen vermittelt gedacht werden. Aber welcher Natur die hierbei im Einzelfalle in Betracht kommenden Kräfte seien, mit welchen Formbildungs- und Bewegungsvorgängen der unorganischen Natur die im Organismus zur Beobachtung kommenden Erscheinungen zu vergleichen, zu analogisiren seien, darüber fehlten alle sicheren Anhaltspunkte. Kurz, es blieb

durchaus räthselhaft, wie im Organismus Stoff und Form, Stoffwechsel und Formwechsel mit einander verknüpft waren.

So konnte Roux [1]) vor einigen Jahren mit Recht sagen: „So bleiben denn mit allem Geschehen auch die morphologischen Grundprobleme ohne jede Erklärung: Die Ausbildung von Richtungen aus den an sich richtungslosen, oder die Gestaltung aus den an sich gestaltungslosen chemischen Processen."

Die fundamentale Bedeutung, welche diese Frage in dem gegenwärtigen Zeitpunkte für die gesammte biologische Forschung erhalten hat, geht auch daraus hervor, dass Sachs [2]) ihr vor einigen Jahren zwei Abhandlungen gewidmet hat, in denen er versuchte, die Beziehungen zwischen Stoff und Form im Organismus näher zu präcisiren. Es ist indessen Sachs nicht gelungen, den Kernpunkt der Frage zu lösen. Sachs vertritt in seinen Ausführungen energisch die Auffassung, dass der Stoff im Organismus die Form vollständig bedingen müsse. Jeder klar Denkende wird ihm darin unbedingt beistimmen, jeder wird auch zugeben, dass im pflanzlichen Organismus Blatt-, Spross-, Wurzel-, Blüthenbildende Stoffe zu unterscheiden sind, d. h. dass eine bestimmte substantielle Beschaffenheit der betreffenden Organe im jugendlichen sowohl, wie im entwickelten Zustande in qualitativer und quantitativer Beziehung jedes ebensowohl charakterisirt, wie ihre äussere morphologische und innere anatomische und histologische Organisation. Aber gerade eine genügende Präcisirung des Zusammenhanges zwischen Stoff und Form im Specialfalle, eine physikalische Erklärung irgend eines Gestaltungs- oder Bewegungsphänomens des Plasmakörpers der Pflanze wird in den Ausführungen von Sachs vollkommen vermisst.

Man hat wohl hin und wieder versucht, die Formbildung des Organismus der Krystallisation lebloser Substanzen für analog erklären zu wollen, aber jedes nähere Eingehen auf die Verhältnisse zeigt sofort, wie ganz unzulässig alle derartigen Vergleiche sind.

Die ersten Beobachter hatten das Protoplasma, dem unbefangenen Eindruck folgend, für flüssig erklärt, es aufgefasst als eine mehr oder weniger zähe, schleimige Masse. Als aber eingehendere Untersuchungen mit der grossen Complication seines Baues, mit den in ihm stattfindenden Bewegungserscheinungen, seiner Eigengestaltungsfähigkeit u. s. w. näher bekannt gemacht hatten, schien diese Auffassung vollkommen unhaltbar zu werden. So sagte denn Sachs in der 3. Auflage seines Lehrbuchs im Jahre 1873, S. 39: „So gross aber auch die Wassermenge und dementsprechend die Aehnlichkeit mit einer Flüssigkeit sein mag, so ist das Protoplasma doch niemals eine Flüssigkeit, selbst die ge-

1) Beitr. zur Morph. d. function. Anpassung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1883. S. 76.
2) Arbeiten d. botan. Inst. zu Würzburg. Bd. II, S. 452 und 689.

wöhnlichen teigigen, schleimigen, gallertartigen Zustände anderer Körper können nur ganz äusserlich mit ihm verglichen werden."

Von vielen Seiten machte man, um sowohl den Analogien mit flüssigen Substanzen, welche der Plasmakörper in manchen Beziehungen unverkennbar zeigte, wie auch seiner Eigengestaltungsfähigkeit in gleicher Weise Rechnung zu tragen, die Annahme, das Protoplasma bestehe aus festen und flüssigen Partien, in inniger Durchdringung, und die ersteren bildeten in ihm ein zusammenhängendes Gerüstwerk. In wie fern aber dadurch die Formbildung, sowie das gesammte Verhalten in irgend welchen Specialfällen wissenschaftlich erklärt werden könne, ist im Einzelnen nie zu zeigen versucht worden.

Naturgemäss mussten diejenigen, welche das Protoplasma für „lebendes Eiweiss" erklärten, dieses letztere auch als für die Mechanik der Formbildung u. s. w. als ausschlaggebend ansehen. Man sah sich so genöthigt, um die Möglichkeit einer Erklärung zu haben, auf besondere moleculare Bau- und Structurverhältnisse desselben zurückzugreifen. In diesem Sinne ist vor einigen Jahren von Nägeli in seiner mechanisch-physiologischen Theorie der Abstammungslehre in ausführlicher Weise eine Theorie vom „Idioplasma" entwickelt worden. Wir können es unterlassen, hier näher auf dieselbe einzugehen und können auch andere ähnliche speculative Ausführungen noch jüngeren Datums hier übergehen. Sie alle wurden entwickelt mit dem ausgesprochenen Zweck, ein näheres Verständniss für die complicirteren Lebenserscheinungen, die Befruchtungsvorgänge, die Vererbungsmechanik u. s. w. zu eröffnen.

In welcher Weise sie im Stande sein könnten, in streng wissenschaftlicher Weise eine Ableitung der Mechanik einer der einfacheren Lebenserscheinungen, etwa der Pseudopodienbildung, der Amöboidbewegung, der Formbildung eines Chlorophyllkörpers u. s. w. zu geben, ist nicht abzusehen. So ist auch bisher von Niemandem auf Grund dieser speculativen Annahmen ein ernsthafter Versuch in diesem Sinne gemacht worden. Und doch sind es diese Fragen, die naturgemäss zuerst ihre Lösung gefunden haben müssen, bevor wir hoffen dürfen, auch in die complicirteren Aeusserungen der Lebensthätigkeit des Organismus Einblick zu gewinnen.

Wir können darum mit Recht behaupten, dass alle bisherigen Versuche, das Wesen der Beziehungen zwischen Stoff und Form im Organismus in streng wissenschaftlicher Weise klar zu legen und zu ergründen, erfolglos gewesen sind. Es würde auch ziemlich jede Aussicht schwinden, in sie jemals sicheren Einblick zu gewinnen, wenn wir diese Beziehungen in die noch so nebelhaften Gebiete des Molecularbaues fester und flüssiger Körper zurückverlegen müssten, wie jetzt so Viele wollen. Diese Gebiete, die sich vorläufig noch fast vollständig der strengen und systematischen wissenschaftlichen Durcharbeitung entziehen,

dürften auch in Zukunft noch nicht sobald für die exacte biologische Naturforschung verwerthbares Material liefern.

Unter diesen Umständen lag es nahe sich zu fragen, ob denn überhaupt bei der Bearbeitung dieses Problemes nicht auch der richtige Weg verfehlt worden sei? Die ersten Beobachter haben, unbefangen wie sie waren, das Protoplasma unbedenklich für eine schleimig flüssige Masse erklärt, und jeder Spätere, der in unbefangener Weise sich dem unmittelbaren Eindruck hingegeben, wird in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle denselben Eindruck empfangen haben. So sagt denn z. B. auch Kühne in seinen Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität S. 34: „Erwägt man die ausserordentliche Verschiebbarkeit des Amöbenkörpers, erwägt man das vollständige Bild eines rollenden Tropfens . . . . ., so wird man an dem ursprünglich flüssigen Zustande der Amöbensubstanz nicht zweifeln können". So redet auch Max Schultze von einem Fliessen der Körnchen in den Pseudopodien der Polythalamien.

Erst die nachträgliche Reflexion war es, wie schon oben erwähnt, welche zu der Ueberzeugung geführt hatte, dass ein grosser Theil der vitalen Eigenschaften des Plasmakörpers mit der Annahme seines flüssigen Aggregatzustandes unmöglich vereinbar seien.

Nie haben aber gerade diese Punkte eine eingehendere Bearbeitung gefunden, Niemand hat noch in detaillirter Weise und unter gehöriger und umsichtiger Berücksichtigung der im Protoplasma gegebenen physikalischen Bedingungen zu zeigen versucht, welche unter dieser Voraussetzung von seinen Eigenschaften und Lebensäusserungen erklärbar sind, welche hingegen unerklärt bleiben.

Besonders sind es aber die Resultate der fundamentalen Untersuchungen über die Flüssigkeiten, die wir von Plateau, Quincke und Anderen besitzen, die bisher noch von Niemandem in ausgiebiger und systematischer Weise für eine Theorie der Protoplasmamechanik verwerthet worden sind. Ein wesentlicher Theil derselben gehört freilich der neueren Zeit an, erschien, als andere Fragen das Interesse von den Protoplasmaproblemen abgelenkt hatten.

Ein Versuch, die Ergebnisse dieser physikalischen Forschungen über die Flüssigkeiten mit den Lebensäusserungen und Eigenschaften des Protoplasmakörpers in Parallele zu bringen, im Einzelnen festzustellen, in wie weit hier Uebereinstimmung herrsche oder nicht, schien dem Verfasser, bald nachdem er begonnen hatte sich in eingehenderer Weise mit den Protoplasmaproblemen zu beschäftigen, bei der Erfolglosigkeit aller bisher in anderer Richtung angestellten Versuche, wohl am Platze.

Schon der erste nähere Einblick in die für die vorliegenden Fragen in Betracht kommenden physikalischen Specialarbeiten musste die Gewissheit erwecken, dass ein grosser Theil der beim Studium der Proto-

plasmamechanik sich aufdrängenden Fragen im Princip schon gelöst vorlagen, dass es hier nur der Anwendung auf die im Plasmakörper gegebenen speciellen Verhältnisse bedurfte. Die weitere Vertiefung in dieselben trug nur dazu bei, diesen ersten Eindruck mehr und mehr zu verstärken und zu befestigen.

Es stellte sich freilich auch bald heraus, dass infolge der grossen Complication der im Plasmakörper gegebenen Verhältnisse in den meisten Fällen von exacter Beweisführung, von experimenteller Begründung werde abgesehen werden müssen, dass es im Allgemeinen nur möglich sein würde nachzuweisen, dass unter entsprechend gewählten Verhältnissen bei leblosen Flüssigkeiten und Gemischen den Gestaltungs- und Bewegungsvorgängen des Plasmakörpers analoge Erscheinungen sich zeigen und dass darum diese letzteren unter Zugrundelegung der Hypothese von der flüssigen Natur des Protoplasma als mechanisch ableitbar und erklärbar zu gelten hätten.

Aber die neuen Gesichtspunkte, die sich bei der systematischen Uebertragung dieser Auffassung auf die Protoplasmaprobleme ergaben, die vollständige Umgestaltung der gesammten Fragestellung, sowie die Erfahrung, dass eine Reihe der auf Grund theoretischer Deductionen so abgeleiteten Folgerungen sich bei dem Studium der betreffenden Objecte als zutreffend herausstellen, im Gegensatz zu dem, was nach den bisherigen Anschauungen und den vorliegenden Untersuchungen als richtig galt, mussten auch unter diesen Umständen ein consequentes Vordringen und Beharren auf dem eingeschlagenen Wege als hinreichend lohnend und erfolgversprechend erscheinen lassen.

So habe ich denn versucht die hauptsächlichsten Fragen des Protoplasmaproblems auf Grundlage der Hypothese von dem flüssigen Aggregatzustande des Protoplasma in eingehender Weise durchzuarbeiten und zu analysiren.

Das allgemeine Ergebniss der Untersuchungen, die auf den folgenden Blättern ausführlich dargelegt werden sollen, ist, dass der Plasmakörper aufzufassen ist als eine höchst complicirte Emulsion, von je nach den Einzelfällen sehr wechselnder Consistenz.

Unter Berücksichtigung des in ihm statthabenden Chemismus und des Stoffaustausches, der zwischen ihm und der Aussenwelt, sowie zwischen seinen einzelnen morphologischen Bestandtheilen untereinander stattfindet, lassen sich auf dieser Grundlage die verschiedenen Thatsachen seiner Organisation, sowie seiner Gestaltbildung als mit bekannten physikalischen Gesetzen im wesentlichen in Uebereinstimmung erweisen.

Die Kräfte, von denen die Formen und Formwandlungen, die Innenbewegungen u. s. w. abhängen, sind die an den Oberflächen wirksamen Kräfte der Oberflächenspannung, dieselben, die bedingen, dass flüssige

Massen in dem einen Falle Tropfenform annehmen, in anderen Fällen sich auf Substraten fester oder flüssiger Natur ausbreiten u. s. w. Kurz, es sind die Kräfte, die überhaupt die einzig formgebenden bei flüssigen Substanzen sind.

Wie die physikalischen Untersuchungen gezeigt haben, wechselt die Intensität der Kräfte in flüssigen Oberflächen fortwährend mit dem Wechsel der chemischen Zusammensetzung, und zwar reagiren sie in sehr empfindlicher Weise auf jede Aenderung in dieser Hinsicht. Da nun der Plasmakörper in stetigem Wechsel sich befindet, seine Zusammensetzung, so lange das Leben dauert, sich fortwährend ändert, so sind dadurch genügende Gründe für den stetigen Wechsel seiner Gestalt und seiner Bewegungserscheinungen gegeben.

Die Kräfte der Adhäsion und Cohäsion, mit ihrem durch die Umstände bedingten stetigen Wechsel der Intensität sind es also, welche im Protoplasma den Zusammenhang zwischen Stoff und Form, zwischen Stoffwechsel und Formwechsel vermitteln.

Da die Aufgabe, die ich mir in dem Folgenden gestellt, nicht allein die Darlegung bestimmter thatsächlicher Verhältnisse betraf, sondern ich auch die Absicht hatte, das vorliegende Problem möglichst vollständig und allseitig zu zergliedern und die im Betracht kommenden Gesichtspunkte so weit mir möglich im Einzelnen zu entwickeln, so habe ich geglaubt auch solche Punkte und Verhältnisse mit berücksichtigen zu sollen, bei denen die Umstände vorläufig noch viel zu complicirt liegen, als dass schon jetzt mit einiger Wahrscheinlichkeit der Nachweis geführt werden könnte, dass das thatsächliche Verhalten den Ergebnissen der theoretischen Deductionen entspreche.

Diese Punkte sind leider nicht gering an Zahl. Sie als noch nicht reif zur Lösung auszuschliessen ging, nicht an, da es sich a priori ohne vorhergegangene Analyse nicht voraussehen liess, wie die Auffassung in Hinsicht auf sie sich gestalten würde, und eine möglichst allseitige Inangriffnahme des Problems auch darum geboten war, damit eine möglichst objective und vorurtheilsfreie Ableitung der principiellen Gesichtspunkte gewährleistet sei.

So sind auch diese Partien mit in die Darstellung aufgenommen worden, obwohl sie vielfach einer exacten thatsächlichen Grundlage fast vollständig entbehren. Aber als einen mehr untergeordneten und nebensächlichen Theil des Ganzen wird man sie, hoffe ich, aus den angeführten Gründen entschuldigen.

Das Hauptgewicht habe ich auf die exemplificatorische Behandlung einer Anzahl besonders ausgewählter Fälle gelegt, die für die Begründung der hier vertretenen Auffassung von principieller Bedeutung waren und am besten geeignet erschienen, zu ihrer Darlegung und Illustrirung zu dienen.

Ich hätte wohl gewünscht, meine Untersuchungen noch mehr in die Breite und Tiefe ausdehnen zu können, besonders auch für eine Anzahl vorkommender Erscheinungen an passenden leblosen Gemischen und Zusammenstellungen die Analogien nachzuweisen und in eingehenderer Weise zu studiren. Wer aber weiss, wie subtil derartige Untersuchungen sind, wie vollständig man ferner vorläufig noch auf das gute Glück angewiesen ist, welches dem auf Gerathewohl Herumprobirenden lange Zeit vergeblich suchen lässt und ihm nur gelegentlich und zufällig einmal ein passendes Object in die Hände spielt, der wird es entschuldigen, dass ich es schliesslich vorgezogen habe, von dem weiteren Zusammentragen von Material zunächst abzusehen und vorerst zu publiciren, was vorlag. Es schien mir das auch aus dem Grunde das Zweckmässigste zu sein, weil, wenn man sich eine Reihe von Jahren in eine bestimmte Auffassung hineingelebt hat, zuletzt die Unbefangenheit des Urtheils, die objective Selbstkritik zum guten Theil verloren geht und man damit auch die Möglichkeit, sich in seinen Ansichten selbständig wesentlich weiter zu fördern. Dann ist der Zeitpunkt gekommen, wo auch das Unvollständige am besten der Kritik der Fachgenossen unterbreitet wird, damit sich eine grössere Anzahl von Kräften an der weiteren Verfolgung des eingeschlagenen Weges, resp. auch an der Beseitigung der mit untergelaufenen Irrthümer betheiligen können. Ich gebe mich nicht der Illusion hin, dass diese letzteren in dem Folgenden fehlen werden, weder in den Beobachtungsresultaten, noch auch besonders in den mehr theoretischen Deductionen und Analysen. Gewiss wird sich in Zukunft im Detail manches wesentlich anders darstellen, als nach den Ergebnissen des vorliegenden ersten Versuchs, weil es mir nicht immer gelungen sein wird, die Verhältnisse vollkommen zu überschauen und nach allen ihren Beziehungen richtig zu zergliedern. Dieselben liegen leider in Bezug auf die meisten hinsichtlich der Protoplasmamechanik sich aufdrängenden Fragen gar zu complicirt.

Mancher dürfte freilich darum überhaupt geneigt sein, jeden Versuch, diese Fragen in allgemeinerer und umfassender Weise einer Lösung entgegenzuführen, vorläufig noch für verfrüht zu erklären. Er wird es für erspriesslicher halten, zunächst noch durch sorgfältige exacte Detailuntersuchungen einer künftigen Lösung vorzuarbeiten. Das wäre gewiss ein sicherer Weg, auf dem die Gefahr in Irrthümer zu verfallen ziemlich ausgeschlossen wäre, wenn wir in der That mit gutem Grunde erwarten dürften, auf ihm zuletzt mit Nothwendigkeit an das Ziel zu gelangen, zur Auffindung der richtigen Gesichtspunkte und zum Nachweis der den Lebenserscheinungen zu Grunde liegenden Gesetze. Bis jetzt haben uns aber alle Untersuchungen schliesslich nur gezeigt, dass für die Lebenserscheinungen innerhalb gewisser, je nach den Einzelfällen mehr oder weniger enger Grenzen eine Reihe von Regeln Gültig-

keit besitzen, von Regeln, denen ihre Bedeutung als Producte mehr oder weniger complicirter Anpassungsvorgänge zu unverkennbar an der Stirn geschrieben steht, als dass wir hoffen dürften, auf dem Wege der exacten Untersuchung jemals etwas anderes zu finden.

Denn wir befinden uns bei derartigen Untersuchungen in den biologischen Wissenschaften in einer Lage, wie sie ungünstiger schwerlich gefunden werden könnte. In einer viel ungünstigeren, als die eines Chemikers sein würde, dem man ein Gemisch von einigen Dutzenden complicirter Verbindungen vorlegen würde, mit der Aufgabe, ohne es in seine Bestandtheile zu zerlegen, die in ihm enthaltenen Verbindungen und ihre Eigenschaften, sowie auch die Eigenschaften der Elemente in ihm zu bestimmen. Mag er seine Untersuchungen auch noch so sehr variiren, mag er dem Gemisch auch mit den feinsten ihm zu Gebote stehenden Hülfsmitteln der physikalischen und chemischen Forschung zu Leibe gehen, es wird ihm unter dieser Bedingung nie gelingen, die Aufgabe zu lösen. Auch er wird nur empirische Regeln erhalten, welche zu den Eigenschaften der zu Grunde liegenden Elemente und Verbindungen in so complicirter Beziehung stehen, dass die Ableitung derselben aus ihnen für immer aussichtslos bleiben wird.

Der Chemiker wird freilich diesen Zweck nie auf einem solchen Wege zu erreichen suchen, uns ist aber in den biologischen Wissenschaften, überall wo es sich um Probleme der Plasmamechanik handelt, ein für alle Mal das hochcomplicirte Substrat gegeben, mit dem wir als Ganzem zu arbeiten haben.

Was ist unter diesen Umständen natürlicher, als dass wir die Resultate der exactesten und mühsamsten experimentellen Untersuchungen so oft nach wenigen Jahren wieder ihre Beweiskraft verlieren sehen, weil sich herausstellt, dass die Fragestellung nicht genügend präcisirt, die Voraussetzungen theilweise verfehlte waren, und dass darum auch die erhaltenen Resultate vieldeutig werden und für den betreffenden Fall nichts beweisen. Diese Umstände sind es, welche den Grund abgeben für den Jedem bekannten und so sehr zu beklagenden Mangel an Stetigkeit in der Entwicklung der Anschauungen in den biologischen Wissenschaften, für einen Mangel, der der Natur der Sache nach gerade in ihnen wohl kaum je wird gehoben werden können.

So manches aber auch im Detail von den Ausführungen auf den folgenden Blättern verfehlt sein mag, dass die ihnen zu Grunde gelegte Hypothese von dem flüssigen Aggregatzustande des Protoplasma und der Emulsionsnatur desselben richtig ist, und sich bei der weiteren Forschung auch mehr und mehr als richtig bewähren wird, davon glaube ich mich fest überzeugt halten zu dürfen und ich gebe mich der Hoffnung hin, davon auch den Leser, der objectiv und vorurtheilsfrei die folgenden Darlegungen prüfen wird, überzeugen zu können. Da-

mit würden aber diese Blätter ihren Zweck im wesentlichen vollständig erfüllt haben.

Was nun die Art der Darstellung und den Gang derselben anbetrifft, so konnten, da die ganze Untersuchung keine inductive war und in den Ausführungen naturgemäss zu viele Lücken, zu viel Hypothetisches bleiben musste, dabei nur in deductiv-analytischer Weise verfahren werden. Die Hypothese musste anticipirt, die Folgerungen aus ihr vorwiegend an den Anfang gestellt und dann versucht werden zu zeigen, dass die vorliegenden Erscheinungen mit diesen in Uebereinstimmung stehen und auf Grund einfacher und naheliegender Annahmen aus ihnen abgeleitet werden können.

Absichtlich sind aber alle jene Bau- und Organisationsverhältnisse unberücksichtigt geblieben, bei denen es sich um Bildungen fester Natur handelte. Darum ist der feinere Bau der Stärke, der Zellmembran, der Krystalloide gar nicht besprochen worden. Diese Producte des Plasmakörpers, deren Studium ja in den letzten Jahren von verschiedenen Seiten mit lebhaftem Interesse und bedeutendem Erfolge wieder aufgenommen worden ist, konnten auch aus diesem Grunde von mir ganz ausser Acht gelassen werden, und mussten das um so mehr, als es mir nicht möglich gewesen sein würde, bei dem grossen Umfang der nothwendig schon zu behandelnden Fragen, ihnen ein umfassendes Studium zu widmen.

Auch mit manchen anderen in Specialfällen innerhalb des Zellprotoplasma auftretenden Structurverhältnissen dürfte es sich ähnlich verhalten, dieselben dürften wohl ebenfalls erst durch die dem festen Aggregatzustande sich nähernden Consistenzverhältnisse der betreffenden Plasmamassen ihre Erklärung finden können. So z. B. die feinere Organisation der glatten und quergestreiften thierischen Muskelfaser, mancher Spermatozoen u. s. w. Auch sie durften darum hier übergangen und es Anderen überlassen werden, für sie eine zureichende physikalische Erklärung zu finden.

ERSTES KAPITEL.

Der geschichtete Bau des Zellkörpers.

Schon in den fünfziger Jahren machte Pringsheim[1]) in seinen Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle auf den geschichteten Bau des wandständigen Plasmakörpers und auf die gesetzmässige Anordnung seiner Theile aufmerksam. Pringsheim unterschied zwischen Hautschicht und Körnerschicht. Der letzteren sind die Chlorophyllkörper und der Kern eingelagert, und zwar liegt der Kern in der inneren, die Chlorophyllkörper in der äusseren Körnerschicht.

Im Anschluss an Pringsheim unterschied auch Strasburger[2]) zwischen Haut- und Körnerplasma. Das Hautplasma ist nach ihm aber nicht einfach die körnerlose Grundsubstanz des Plasmakörpers, wie es Sachs[3]) gewollt hatte, sondern eine bestimmte Modification derselben, dienend zum Abschluss und Schutz des Ganzen nach aussen. Beide Schichten gehen aber nach Strasburger allmählich ineinander über.

Auf Grundlage mehr theoretischer Erörterungen sind bestimmte Ansichten über die hierhergehörigen Bauverhältnisse des Plasmakörpers besonders noch von Brücke, Hanstein und Pfeffer entwickelt worden. Wir können auf sie erst später eingehender Bezug nehmen, sie darum vorläufig hier übergehen und nur noch erwähnen, dass auch Schmitz[4]) verschiedentlich auf die gesetzmässige Lagerung von Kern und Chlorophyllkörpern im Plasma hingewiesen hat.

Eine umfassendere Bearbeitung und Berücksichtigung haben aber diese Verhältnisse bisher noch nicht gefunden, was um so mehr zu bedauern ist, als sie uns für viele Lebenserscheinungen nähere Anhaltspunkte über die Natur der dabei im Plasma stattfindenden Veränderungen geben, und ihre consequente Berücksichtigung manche dieser Vorgänge in ganz neuem Lichte erscheinen lässt. Für die gesammten nachfolgenden Ausführungen in diesen Blättern sind sie von fundamen-

---

1) Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. Berlin 1854. S. 4 ff.

2) Studien über das Protoplasma. Jena 1876. S. 23.

3) Lehrbuch der Botanik. IV. Aufl. 1874. S. 41.

4) Festschrift der naturforschenden Gesellschaft zu Halle 1879.

taler Bedeutung, und es ist darum nöthig, hier zunächst mit einer detaillirteren Behandlung derselben zu beginnen.

In besonders gut ausgeprägter Weise tritt die geschichtete Structur des Plasmakörpers in manchen Sporen zu Tage, z. B. bei den Sporen von Equisetum-Arten. Ich untersuchte vorwiegend Eq. arvense, dann auch Eq. silvaticum.

Der kuglige reife Sporenkörper zeigt hier nach dem Einbringen in Wasser einen centralen grossen Kern mit ebenfalls grossem, gut sichtbarem Nucleolus. Der Kern selber ist etwas geschrumpft und zeigt sternförmige Umrisse. Nach einigem Liegen in Wasser wird er jedoch bald prall. Die auf dem Kern liegende Plasmalage ist farblos und enthält stark lichtbrechende, dunkle Körnchen, über deren chemische Natur ich nur anzugeben vermag, dass sie in Alkohol unlöslich sind und auch nicht in Lösung gehen, wenn man die Sporen in Wasser zerdrückt. Diese ziemlich dünne Plasmaschicht ist umgeben von einer bedeutend dickeren, der die zahlreichen, ziemlich kugligen Chlorophyllkörper eingelagert sind. Obwohl letztere gut individualisirt, ist ihre Begrenzung gegen das Plasma doch nur wenig deutlich. Schliesslich liegt zwischen der Zellwand und der chlorophyllführenden Plasmaschicht eine zuweilen etwa ebenso dicke, oft aber weit dünnere Schicht hyalinen Plasmas, das dicht erfüllt ist mit kleinen Tröpfchen einer zähflüssigen Masse. Dieselben sind in radialer Richtung stark abgeplattet, linsenförmig und brechen das Licht ziemlich stark. Was ihre chemische Natur anbetrifft, so scheinen sie ihrer Hauptmasse nach aus eiweissartigen Substanzen zu bestehen, denn sie sind löslich in Wasser, wenn man frische Sporen zerdrückt, werden aber unlöslich nach Behandlung derselben mit Jod. Indessen scheinen sie oder die Grundmasse auch Oel zu enthalten, denn Osmiumsäure färbt die peripherische Masse rasch dunkel, und bei Zusatz von Alkohol erscheinen in ihr Tröpfchen, welche bald den Chlorophyllfarbstoff in sich aufspeichern. (Taf. I, Fig. 1.)

Kleinere Abweichungen von diesem Bau finden sich in manchen, anscheinend nicht ganz normal ausgebildeten Sporen. Hier ist die peripherische Plasmamasse heller, die kleinen Tröpfchen sind nicht zu erkennen. Statt dessen finden sich dagegen unregelmässig vertheilt in ihr glänzende Tropfen von verschiedener Grösse, die eine etwas gelbliche Färbung besitzen. Bei der Keimung lösen sich auch die Tröpfchen der normal ausgebildeten Sporen allmählich auf.

Zwischen Kern und Sporenwand lassen sich also bei Equisetum drei concentrische Plasmaschichten gut unterscheiden.

Weitere Beispiele einer schön ausgeprägten concentrischen Lagerung liefern viele Algenzellen, besonders mehrkernige. So die grossen Zellen von Bornetia, Griffithien, Monospora, Spermothamnion, mehrkernigen Polysiphonien (z. B. P. elongata) ferner auch Valonia. Hier

findet sich central der grosse Saftraum. Im Wandbeleg führt die innere Schicht die Kerne, sie sind überlagert von einer Schicht, in der die Farbkörper liegen, und zwischen dieser und der Membran ist dann wieder die mehr oder weniger entwickelte farblose Plasmaschicht nachweisbar, in der vielfach besondere, meist kleinere Einlagerungen nachweisbar sind, auf welche später näher eingegangen werden soll. Bei Griffithia opuntioides führt sie allein grosse linsenförmige krystalloidähnliche Gebilde von nicht näher untersuchter chemischer Natur. Die zwischen der hyalinen Hautschicht und den Chlorophyllkörpern gelegenen Partien des Körnerplasma sind oft stark entwickelt, so bei Bryopsis, Vaucherien. Es sind ihnen bei diesen Formen in grosser Menge linsenförmige Tröpfchen eingelagert, die selten isolirt liegen, meist zu einfachen oder verzweigten perlschnurförmigen Fädchen gereiht sind.

Bei manchen höheren Pflanzen sind es allein diese Schichten des Wandbelegs, welche kleine Harztröpfchen führen. So in schönster Weise in allen Zellen der Rinde von Rhus glabra (im Januar untersucht). Die stark lichtbrechenden Harztröpfchen sind hier sehr zahlreich, und da in den betreffenden Zellen die Chlorophyllkörper ebenfalls leicht kenntlich sind, so kann man sich unschwer überzeugen, dass sie im Wandbeleg zwischen diesen und der Membran und nur hier liegen. Sie sind, wie die oben erwähnten Tröpfchen von Bryopsis in tangentialer Richtung linsenförmig abgeplattet, breiten sich aber bei Alkoholzusatz sofort noch mehr aus, fliessen seitlich zusammen und lösen sich bald. Mit Alkanna färben sie sich, ebenso wie das Harz der Secretcanäle intensiv roth.

Ganz ebenso verhalten sich zahlreiche kleine Harztröpfchen im Plasma der Blattzellen von Tsuga canadensis (Januar), Cedrus Libani (Mai), in der Rinde von Pinus Mughus (Mai). Bei Tsuga erreichen einzelne Tröpfchen erheblichere Grösse. Auch bei Hedera fand ich im Februar wenig zahlreiche kleine Harztröpfchen in einzelnen Zellen der primären Rinde, ausserhalb der chlorophyllführenden Schicht. Bei Pistacia Lentiscus führen ebenfalls bestimmte Rindenzellen viele Harztröpfchen in den peripherischen Lagen des Wandbelegs, da aber hier in den lebenden Zellen die Chlorophyllkörper (resp. Stärkebildner) nicht zu erkennen waren, so konnte ihre Lage nicht sicher bestimmt werden.

Zwischen der Hautschicht des Plasmabelegs und der eigentlichen Zellmembran werden oft Schleimmassen in mehr oder weniger bedeutender Menge abgelagert, so bekanntlich in den Schleimzellen der Malvaceen und Tiliaceen [1]), in denen der Protoplasmakörper schliesslich ganz verdrängt wird. Ebenso auch in den Sporangien vieler Algen vor der Entleerung der Schwärmer, z. B. in den uniloculären Sporangien

1) Frank, Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. V, S. 161 ff.

der Phäosporeen, wie schon Thuret[1]) nachwies, in den Gametangien von Codium u. s. w.

Es ist hier freilich nebenbei auch sofort darauf hinzuweisen, dass sehr häufig grössere Schleimmengen auch im Zellsaft auftreten, so bei Liliaceen, Amaryllidaceen, bei Orchideen, Borragineen u. s. w.

In Specialfällen lassen sich noch weitere Schichten im Plasmakörper nachweisen, wenn in ihm besondere Einlagerungen nicht allgemein verbreiteter Natur vorkommen. So zeigen z. B. viele Desmidieen (Zygnema, Mesocarpus-Arten u. s. w.) in den dem Saftraum unmittelbar anstossenden Schichten und nur hier zahllose kleine Tröpfchen oft von bräunlicher Färbung, welche eine Gerbstofflösung zu enthalten scheinen.

Die Zellmembran selber erscheint nach unserer bisherigen Betrachtung als der äussere Abschluss des concentrisch geschichteten plasmatischen Systemes. Eine wesentlich andere Auffassung ergibt sich aber, wenn man die Lagerungsverhältnisse im Gewebeverbande ins Auge fasst. Hier trennt die Membran zwei symmetrische plasmatische Systeme, sie gehört ihnen beiden an, und wenn wir, im Gegensatz zu der gewöhnlichen Auffassung, was aber, wie sich aus den folgenden Ausführungen ergibt, nothwendiger Weise geschehen muss, diese beiden plasmatischen Systeme als zusammengehörig betrachten, so haben wir die Cellulosemembran als ihre mittlere, innerste Schicht aufzufassen.

Wie der Protoplasmakörper gliedert sich auch die Membran wohl ausnahmslos in eine Anzahl von Schichten. Schon ganz junge Membranen lassen deren drei erkennen, die Mittellamelle und zwei seitliche, die ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen besitzen. An den zartwandigen Zellen des Cambiums, des Weichbastes etc. ist dieser symmetrische Bau der Membran in der Regel ohne jede Präparation unschwer zu erkennen. Behandlung mit dem Gemisch von Schultze oder mit Chromsäure, zuweilen auch anhaltendes Kochen in Wasser lässt sie durch Isolirung der Zellen von einander auch bei anderen zartwandigen Zellen nachweisen.

Aber die beiden seitlichen Schichten differenziren sich in der Regel noch weiter. Lehrreich sind hier die Untersuchungen von Höhnel[2]) über den Bau der Membran der Korkzellen. Die Membranen bestehen hier aus fünf Schichten, einer Mittellamelle aus verholzter Cellulose, jederseits von ihr zwei Korklamellen und gegen die Zelllumina zu aus je einer Celluloselamelle. Die Korklamellen bestehen aus Cellulose, die mit den verkorkenden Substanzen imprägnirt ist, die Celluloselamellen sind meist verholzt.

---

1) Ann. d. Sc. nat. Botan. Sér. III, Tome XIV u. XVI.

2) Ber. d. Wien. Akad. Bd. 76. S. 507 ff. 1877.

Verkorkte Membranen im gewöhnlichen Zellgewebe, wie sie sich z. B. nach den Untersuchungen von Zacharias[1]) und von Höhnel[2]) bei der Mehrzahl der einzelligen Excretbehälter vorfinden, zeigen einen entsprechenden Bau, aber die Zahl der Schichten steigt hier noch weiter dadurch, dass gewöhnlich sowohl die Mittellamelle wie die an die Zellhöhlung angrenzenden Wandschichten unverholzt bleiben. So sind dann jederseits von der Mittellamelle mindestens vier Schichten anzunehmen, eine zarte verholzte Lamelle, die Korklamelle, wieder eine verholzte Lamelle und gegen das Zellinnere zu die reine Celluloselamelle. Für die ganze Membran also neun Lamellen, vorausgesetzt, dass auch nach der anstossenden Zelle zu Verkorkung eingetreten ist, was allerdings bei der meist isolirten Lage der Secretbehälter in der Regel nicht der Fall ist.

In verholzten Membranen sind die verholzten Schichten oft von der unverholzten Mittellamelle einerseits und andererseits von reinen Celluloseschichten nach dem Lumen zu überdeckt, so dass wir für die ganze Membran wieder einen symmetrischen Bau und fünf Schichten erhalten. Die cuticularisirte Lamelle, welche in verkorkten Membranen auftritt, fehlt hier, sie würde innerhalb jeder der beiden verholzten Schichten auftreten müssen. Ob die einzelnen, so unterscheidbaren Schichten einer Membran scharf voneinander abgesetzt sind, wie etwa die Chlorophyllkörper und Kerne von der Grundmasse des Plasmakörpers, scheint mir nicht wahrscheinlich. Vermuthlich gehen sie allmählich in einander über, wenn sich das auch nicht direct nachweisen lässt. Wir würden also anzunehmen haben, dass die Natur der Membranschichten allmählich von der Zellhöhlung aus bis zur Mittellamelle sich ändert, ganz unbeschadet der Richtigkeit der Annahme, dass die Membran durch Apposition wächst. Denn die einmal abgelagerten Schichten bleiben nicht dauernd in dem Zustande, in welchem sie abgelagert wurden. Sicherlich finden manche nachträgliche Veränderungen in ihnen statt, deren Natur von dem Ort abhängt, welchen die betreffende Schicht in der ganzen Membran einnimmt. Das sehen wir wenigstens, wenn wir die Entwicklung der verholzten und verkorkten Membranen verfolgen, wo die die Verholzung und Verkorkung bedingenden Substanzen erst nachträglich einzelnen Schichten der vorher Cellulosereaction zeigenden Membran eingelagert werden, und zwar, wie wir sahen, Schichten, die eine ganz bestimmte Anordnung zu einander besitzen.

Wir dürfen wohl annehmen, dass auch in den Fällen, wo Verholzung und Verkorkung nicht erfolgt, eine schichtenförmige Gliederung der Membranen ganz allgemein anzunehmen ist und dass sie also in dieser Beziehung eine analoge Symmetrie besitzen, wie der Plasmabeleg selbst.

---

1) Botan. Zeitg. 1879. 2) Ber. d. Wien. Akad. Bd. 84. S. 24. 1881.

Freilich können die Differenzen, welche die beiden jederseits der Mittellamelle gelegenen Membranhälften in ihrer Ausbildung in qualitativer und quantitativer Hinsicht zeigen, sehr bedeutend sein, und eine Membran, die nach der einen Zelle zu stark verdickt, verholzt und verkorkt, nach der anderen aber unverdickt ist und aus reiner Cellulose besteht, macht nicht den Eindruck eines symmetrischen Gebildes. So da, wo Parenchym und Bastfasern, Parenchym und Secretbehälter u. s. w. aneinander stossen. Aber diese äusserlich so auffallenden Differenzen dürften das innere Wesen der betreffenden Symmetrieverhältnisse nicht berühren, ebenso wenig wie bei den Plasmakörpern in solchen und ähnlichen Fällen, deren äusserliche Ausbildung dann ebenfalls eine sehr verschiedene sein kann.

Die vorstehenden Ausführungen sollen über die Bauverhältnisse der Zellmembran nur einige allgemeinere Bemerkungen geben, welche mir die thatsächlichen Beobachtungen und theoretische Ueberlegungen augenblicklich als am wahrscheinlichsten und zutreffendsten erscheinen lassen. Trotz der werthvollen neueren Untersuchungen über Bau und Bildung der Zellmembran von Dippel[1]), Schmitz[2]), Strasburger[3]) u. A. bedarf dieses Gebiet doch noch erst umfassenderer gründlicher Durcharbeitung, bevor es möglich sein wird zu definitiven Anschauungen zu gelangen. Es konnte darum hier auch davon abgesehen werden auf weitere Einzelheiten und abweichende Bauverhältnisse, wie sie sich z. B. in den mehrjährigen Markzellen von Clematis nach Dippel und Strasburger finden, näher einzugehen. Dass es sich z. B. in diesem Falle um abgeleitete Verhältnisse handelt, dürfte kaum einem Zweifel unterliegen, und um ihn zu verstehen, wird es nöthig sein, auch die Entwicklung unter Berücksichtigung der gleichzeitig im Plasmakörper statthabenden Vorgänge eingehend zu verfolgen.

Auf einige interessante Thatsachen hinsichtlich des Baues und der Symmetrie der Zellmembran kann weiter unten erst näher eingegangen werden.

Mit den vorstehenden Ausführungen wurde nur beabsichtigt, an einer Reihe ausgewählter Beispiele das Wesentliche über die Schichtungsverhältnisse im Zellkörper zur Anschauung zu bringen. Lassen sich diese Befunde nun verallgemeinern, ist die concentrische Schichtung und die gefundene gesetzmässige Folge der Schichten allen Zellkörpern gemein-

---

1) Mikroskop 1869, II. Theil. — Abh. der Senckenb. naturf. Gesellsch. Bd. X, 1876. Bd. XI, 1879.

2) Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilk. zu Bonn. 6. Dec. 1880.

3) Bau und Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882.

sam? Bei der bekannten Vielgestaltigkeit des Plasmakörpers der Zellen wird man nicht geneigt sein, dies ohne weiteres zuzugeben.

Manche Abweichungen von der gleichmässig concentrischen Schichtung sind nun zunächst von geringerer Bedeutung und nicht geeignet, der Erkenntniss des richtigen Sachverhalts grössere Schwierigkeiten zu bereiten.

So fehlen bei zahlreichen Algen die Farbkörper, welche die übrigen Wände der Zellen in geschlossener, gleichmässiger Schicht bedecken, oft vollständig an den Wänden, wo sich zwei benachbarte Zellen berühren, bei Zellfäden also an den Querwänden, beispielsweise bei Oedogonien, Ulothrix etc. Andere Formen, wie Bornetia, Griffithia etc. zeigen indessen auch hier Farbkörper im Wandbeleg, nur sind dieselben oft spärlich, von viel geringerer Grösse und Dicke. Als im Widerspruch mit der Annahme eines concentrischen Baues des Wandbelegs wird man unter diesen Umständen solche Fälle nicht betrachten dürfen, sie deuten nur auf das Vorhandensein von Differenzen in der Schichtung hin, deren nähere Erklärung und Begründung einem der späteren Kapitel überlassen werden muss.

In anderen Fällen finden wir z. B. die in geringerer Zahl oder auch nur in Einzahl vorhandenen Farbkörper noch weiter localisirt. So bilden sie bei den Chaetophoreen, bei Ulothrix, sobald ihre Masse nicht besonders gross ist und die Zellen etwas beträchtlichere Länge besitzen, nur ein äquatoriales Band in jeder Gliederzelle. Bei anderen Formen, wie kleinen Conferven nur eine einseitig der Zellhaut anliegende Platte u. s. w.

Während aber die Chlorophyllmassen doch noch immer eine gewisse Flächenausdehnung im Wandbeleg besitzen, runden sich die Zellkerne meist vollständig ab, und so stören gerade sie, wenn sie nur in Einzahl, wie das ja die Regel ist, im Wandbeleg vorhanden sind, die gleichmässige concentrische Schichtung auf das auffälligste. Der Wandbeleg wird durch den Kern meist einseitig mächtig aufgetrieben. Auch einzeln, oder in geringerer Anzahl im Wandbeleg auftretende Harz- oder Oeltropfen von etwas bedeutenderer Grösse, wie bei vielen Coniferen, bei Pittosporum Tobira, in der Rinde von Ilex Aquifolium, runden sich vollständig zur Kugel ab, und bringen im Wandbeleg denselben Effect hervor.

Es wird vollständig genügen, an dieser Stelle auf diese Abweichungen kurz hingewiesen zu haben. Weniger leicht ist es, eine richtige Auffassung der Verhältnisse zu gewinnen, sobald der Plasmakörper einer Zelle schaumigen oder gerüstförmigen Bau besitzt. Der schaumige Plasmakörper wiederholt nun mit Bezug auf die Symmetrieverhältnisse in gewissem Sinne ein Zellgewebe im Raum einer einzigen Zelle, und so sind denn die einzelnen Plasmalamellen, welche die Kammern von einander trennen, dem plasmatischen System zu vergleichen,

welches die Zellwand in sich aufnehmend zwischen den Safträumen zweier benachbarten Zellen entwickelt ist. Für gewöhnlich gilt das freilich nur mit gewissen aber nebensächlichen Einschränkungen. Die Analogie wird vollständig, sobald in diesen Platten, wie in zahlreichen Blumenblattepidermen bei höheren Pflanzen, oder bei der Bildung vieler Episporien u. s. w. Celluloselamellen ausgeschieden werden. Wir können auch darauf erst später näher eingehen. Hier muss nur erwähnt werden, dass in solchen Plasmalamellen schaumiger Plasmakörper für gewöhnlich in vegetativen Zellen nur die inneren Schichten des Wandbelegs vertreten sind, oft führen sie nur farbloses Plasma, oft nehmen sie auch den Kern oder mehrere Kerne auf, und sehr häufig enthalten sie auch Chlorophyllmassen, wie bei Cladophora, Oedogonien u. s. w. Sehr oft lagern sich die letzteren, oder etwa eingelagerte Kerne in die Kanten oder Ecken, wo drei oder vier Lamellen des Schaumgewebes zusammenstossen, während die dünneren und zarteren Flächenpartien nur farbloses Plasma enthalten, wie ebenfalls bei wenig farbstoffreichen Cladophorazellen oft beobachtet wird.

In den das Zelllumen durchsetzenden Fäden gerüstförmiger Plasmakörper finden sich die für die Plasmaplatten geschilderten Verhältnisse wieder. Oft enthalten sie nur farbloses Plasma, während in anderen Fällen auch Kerne und Chlorophyllkörper aus dem Wandbeleg in sie übertreten. In selteneren Fällen bildet sich in ihnen in vegetativen Zellen auch eine centrale Achse von Cellulose aus, so bekanntlich bei Caulerpa, im Embryosack von Pedicularis, in den Zellen, welche an Zellstoffbalken suspendirt, Drusen von Kalkoxalat führen u. s. w. In solchen Fäden ist das plasmatische System allseitig vom Zellsaft umspült, die Cellulosemasse dementsprechend als Faden von gerundetem Querschnitt im Centrum ausgeschieden, nicht als Platte, wie zwischen zwei Zellen und im schaumigen Plasmakörper.

Die besprochenen Plasmakörper zeigen also im Gegensatz zu den im Anfang allein berücksichtigten, mehrere Centra, um welche herum sich die Schichtung der Masse entwickelt, sie sind den ersteren, monocentrischen, gegenüber als polycentrische zu bezeichnen. Die schaumigen Plasmakörper zeigen dies sofort, die Centra sind bei ihnen wieder die Mittelpunkte der Safträume, wie in der monocentrischen Zelle. Weniger anschaulich ist die Sache bei den gerüstförmigen Plasmakörpern, weil bei diesen die betreffenden Centra wie eine geometrische Betrachtung ergibt, sehr complicirte Gestalt und Anordnung besitzen. Die polycentrische Symmetrie ist nun in solchen Plasmakörpern in der Regel nur eine untergeordnete, da wir sahen, dass für gewöhnlich nur ein Theil der Schichten des plasmatischen Systems des Wandbelegs sich nach innen in die Platten und Fäden hinein fortsetzt, während andere ganz wandständig bleiben. Darum besitzen solche Zellen gewöhnlich

doch noch eine übergeordnete monocentrische Symmetrie, und das macht in manchen Fällen auch dadurch sich bemerkbar, dass die untergeordneten Centra nach Anordnung und Ausbildung eine concentrische Schichtung erkennen lassen. So sind oft in schaumigen Plasmakörpern die Vacuolen gegen die Peripherie zu kleiner als gegen das Centrum, welches dann oft von einer einzigen sehr grossen Vacuole eingenommen wird. Die trennenden Plasmalamellen werden dementsprechend in derselben Richtung dünner und zarter. In gerüstförmigen Plasmakörpern ist ebenso das Gerüst in der Peripherie der Zelle oft dichter, die Fäden dicker als im Centrum. Das geht z. B. aus der Anordnung der Cellulosebalken in einem Querschnitt von Caulerpa oft sehr schön hervor.

In manchen Fällen sammeln sich in polycentrischen Plasmakörpern im Innern des Zellraumes, mit dem Wandbeleg durch Fäden und Platten verbunden, grössere Plasmamassen an, die nun ebenfalls die entsprechenden Symmetrieverhältnisse zeigen. In den einfachsten Fällen zeigt diese Masse dann natürlich die Symmetrieverhältnisse eines gewöhnlichen Plasmafadens im Querschnitt. So z. B. in den Zellen vieler Phaeosporeen, wie Stypocaulon. Bei wandständiger Lage der Farbkörper bildet hier der Kern das Centrum dieser an zahlreichen dünnen Platten suspendirten Masse, umgeben von Plasma, dem zahlreiche gerbstoffhaltige glänzende Tröpfchen eingelagert sind. In den Sporenmutterzellen von Anthoceros und Isoëtes (vergl. auch Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, III. Aufl. Taf. X) bilden zu einer gewissen Zeit die vier durch Theilung aus dem einzelnen Chlorophyllkörper entstandenen Massen das Centrum, dem der Kern einseitig aufgelagert ist. Wenn in Gewebezellen höherer Pflanzen im Lumen Drusen von Kalkoxalat ausgeschieden werden, so sind die letzteren von einer Cellulosehülle überzogen, die von einem Plasmabeleg gebildet wird. In diesem System herrscht also, von dem Vorhandensein des Kalkes abgesehen, dieselbe Symmetrie, wie in einem Plasmafaden von Caulerpa mit axilem Cellulosebalken. Ganz entsprechend finden wir in den Raphidenzellen die Raphiden einer Schleimmasse eingelagert, welche wieder im Innern einer Plasmamasse zur Abscheidung kommt, die mit dem Wandbeleg durch zahlreiche Fäden oder Platten verbunden ist. Ihr ist in manchen Fällen auch der Kern eingelagert, so z. B. bei Hyacinthus, Cordyline vivipara, oft bei Anthurium Scherzerianum, während der letztere in anderen Fällen im Wandbeleg verharrt, wie bei Tradescantia, Impatiens tricornis, Sparmannia acrifolia.

Die Ablagerung dieser Cellulose und Schleimmassen im Innenraum der Zellen harmonirt also durchaus mit den Ergebnissen unserer früheren Betrachtungen über Zellen mit monocentrischem Plasmakörper. In den letzteren sind die Kalkoxalat- und Schleimmassen, den Symmetrie-

gesetzen gemäss, der Zellhaut ein- resp. aufgelagert, die wir in den Zellen mit polycentrischer Symmetrie an bestimmten Stellen des Zellinnern vorfinden. Besondere Specialfälle sind es nur, wenn die in das Zelllumen vortretenden Cellulose- oder Schleimmassen einseitig mit einem einzelnen Stiel, wie bei den Cystolithen von Ficus elastica, oder mit breiterer Basis der Zellwand aufsitzen, wie das letztere für die krystallsandführenden Schleimmassen von Sambucus nigra der Fall ist.

Eine im Innern der Zelle suspendirte grössere Plasmamasse kann aber selber wieder complicirtere Symmetrieverhältnisse zeigen. Die Schichten können z. B. an ihrer Oberfläche in der Weise, wie oben geschildert, aufeinanderfolgen, weiter nach dem Centrum zu aber in umgekehrter Ordnung sich wiederholen, also so aufeinanderfolgen, wie in einem gewöhnlichen Wandbeleg von der Membran gegen den Saft zu. Kommt es in solchen Fällen zur Ausscheidung von Cellulose, so schliesst dieselbe dann als hohlkuglige Membran diese inneren Schichten von der äusseren Masse ab. Das kommt in vegetativen Zellen nicht vor, um so häufiger aber in reproductiven bei der freien Zellbildung. Wir werden darauf später des Näheren einzugehen haben. Mit fehlender Membranlamelle ist eine solche Symmetrie dagegen auch in vegetativen Zellen häufig, z. B. in den Epidermiszellen von Tradescantia, Orchideen u. s. w., wo in der im Zellinnern suspendirten Plasmamasse ein grosser Kern allseitig von Chlorophyllkörpern, resp. Stärkebildnern umgeben ist. Auch ein Saftraum kann in solchen Fällen im Innern dieser Masse wieder auftreten.

Statt einer einzigen im Zelllumen suspendirten Plasmamasse können auch mehrere grössere Ansammlungen auftreten, die entweder mehr oder weniger gleichmässig durch das Lumen vertheilt sind, oder vorwiegend bestimmte Regionen der Zellhöhlung einnehmen. Wir werden später bei der eingehenderen Begründung der Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers Gelegenheit finden, näher auf diese Modificationen einzugehen, zum Zweck der ersten Uebersicht wird das Vorstehende darum zunächst wohl genügen können.

Wir wollen nun, um einen einfachen Ausdruck für die Bezeichnung der besprochenen Symmetrieverhältnisse plasmatischer Systeme zu gewinnen, jene Folge der Schichten, wie wir sie in den Sporen von Equisetum und in allen Zellen mit einfachem Wandbeleg fanden, als normale Schichtung bezeichnen, als inverse dagegen die Schichtung in den Plasmafäden von Caulerpa, in der centralgelegenen Masse der Raphiden und Drusenzellen etc., bei denen der Zellsaft das ganze System umgibt, die Cellulose im Centrum liegt. Wir haben schon oben gesehen, dass im Grunde diese beiden Fälle mit einander übereinstimmen, wir brauchen nur die normal geschichteten Wandbelege zweier benachbarten Zellen sammt der eingeschlossenen Membran zu einem System

zusammenzufassen, um in demselben sofort inverse Schichtung zu bekommen.

Da wir es aber bei unseren ferneren Betrachtungen in der Regel mit den Symmetrieverhältnissen des Plasmakörpers einzelner Zellen zu thun haben werden, so empfiehlt sich die vorgeschlagene Unterscheidung, um für alle Fälle eine kurze Bezeichnung zu gewinnen.

Auch der gesammte Plasmakörper einer Zelle kann oft zeitweilig inverse Symmetrie annehmen, so bei der Vollzellbildung der Pollenmutter- und Sporenmutterzellen behufs der Befreiung von der alten Membran, der zu Schwärmern sich umgestaltenden Plasmamassen bei Algen und Pilzen u. s. w., ohne dass es hierbei indessen zur Abscheidung von Cellulose im Centrum der Zelle käme. Wir können auch hierauf erst in einem der folgenden Kapitel des Näheren eingehen.

Der Saftraum ist in einer Zelle bekanntlich zwar für gewöhnlich aber keineswegs immer vorhanden und wie ein monocentrischer Bau des Plasmakörpers in Zellen ohne ihn möglich ist, so gilt dasselbe auch für Zellen mit polycentrischer Symmetrie. Es darf darum nicht Wunder nehmen, wenn wir gelegentlich in Zellen eine Vertheilung der Substanzen, beispielsweise der Chlorophyllkörper oder der Stärkebildner finden, welche mit der einfachen concentrischen Schichtung nicht harmonirt. Es möge in dieser Hinsicht hier nur auf Symmetrieverhältnisse in den sich theilenden Sporen von Equisetum arvense hingewiesen werden, die in einem späteren Kapitel eingehender besprochen und auf Taf. IV, Fig. 1—5 schematisch wiedergegeben sind. Es wird darum nicht nöthig sein, hier näher auf sie einzugehen.

Nach den bisher gegebenen Auseinandersetzungen, die zunächst nur als vorläufige Uebersicht über das weiterhin in diesem und den folgenden Kapiteln zu gebende zu betrachten sind, ist also der Plasmakörper aufzufassen als zusammengesetzt aus einer gesetzmässigen Reihenfolge von Schichten, erkennbar in erster Linie durch die verschiedene Natur ihrer Einlagerungen, wie Harztröpfchen, Chlorophyllkörper, Zellkerne, Gerbstofftröpfchen u. s. w.

Es fragt sich nun, können in Specialfällen einzelne dieser Schichten fehlen? Die Chlorophyllkörper fehlen bekanntlich bei den Pilzen, Harztröpfchen, Gerbstofftröpfchen u. s. w. sind ebenfalls nur von beschränktem Vorkommen; fehlen in solchen Fällen aber auch die entsprechenden Schichten der Grundmasse des Plasmakörpers, denen sie eingelagert sind bei ihrem Vorhandensein? Aus theoretischen Gründen, die im Einzelnen erst in einem der folgenden Kapitel näher dargelegt werden können, ist das nun wohl nicht anzunehmen. Nur die Dicke

der betreffenden Zonen wird nach den Einzelfällen ziemlich zu variiren im Stande sein.

Fehlen können dagegen bekanntlich der Saftraum und die Membranschichten, beide sind accessorische Bestandtheile des plasmatischen Systems. Ob aber auch in Zellen ohne Saftraum die Schichten fehlen können, welche im anderen Falle den Kern oder die Kerne vom Zellsaft trennen, muss als zweifelhaft gelten. Sind sie aber immer als vorhanden anzunehmen, so kann der Zellkern nie das wirkliche morphologische Centrum der Zelle sein, auch wenn er, wie in den ruhenden Sporen von Equisetum und in anderen Fällen genau im Centrum zu liegen scheint.

Die vorstehenden Ausführungen stehen theilweise in directem Widerspruch zu einer Reihe von älteren oder neueren Angaben über das Auftreten und die Lagerung einer Anzahl von Zellinhaltsbestandtheilen. Wir haben darum jetzt noch nachträglich in etwas eingehenderer Weise auf die betreffenden Punkte, sowie auf einige allgemeinere Folgerungen, die sich aus unseren Ausführungen ergeben, zurückzukommen.

Unsere bisherigen Betrachtungen haben ergeben, dass im Gewebeverbande wie auch im Innern des Plasmakörpers einer Zelle die Cellulosemembran als innerste Schicht einem concentrisch gebauten plasmatischen System eingelagert ist. Wir werden später finden, dass auch bei der Zelltheilung und in der Mehrzahl der Fälle bei der freien Zellbildung die zur Ausscheidung kommende Cellulose dieselbe Lage einnimmt. Demgegenüber muss es nun als höchst auffallend erscheinen, dass an freilebenden, resp. bei im Gewebeverbande befindlichen Zellen an den gegen das äussere Medium gerichteten freien Aussenwänden die Cellulosemembran ganz peripherisch dem Plasmakörper aufzuliegen und den Abschluss gegen das Medium zu bilden scheint.

Es sind nun in der letzten Zeit schon einige Thatsachen bekannt geworden, die für diese Frage eine andere als die bisher geltende Auffassung nahe zu legen geeignet erscheinen.

Durch die Wahrnehmung, dass im Plasmakörper die oben besprochenen Symmetrieverhältnisse allgemein realisirt waren, wurde ich veranlasst, die vorliegende Frage eingehender zu erwägen und Untersuchungen nach dieser Richtung hin anzustellen. Es hat dann zuerst Russow gegen Ende des Jahres 1883 durch eine kurze Publikation auf einige hierher gehörige Thatsachen aufmerksam gemacht. Diese Publikation veranlasste mich ebenfalls Einiges von den von mir erhaltenen Resultaten in aller Kürze mitzutheilen. Seitdem sind auch von anderer Seite Publikationen erfolgt, auf die ebenfalls erst weiter unten näher eingegangen werden soll.

Es ist bekannt, dass die Intercellularräume, für gewöhnlich als Durchlüftungscanäle in der Pflanze dienend und oft auch wässrige Flüssigkeit führend, in vielen Fällen als Behälter von Secreten erscheinen. Die Secrete sind klare homogene Harz- oder Schleimmassen oder auch Emulsionen, in denen harzige und gummiartige Stoffe den hervorragenden Bestandtheil bilden. Indem wir wegen des Näheren hinsichtlich ihres Vorkommens und ihrer Vertheilung wohl auf de Bary's Anatomie verweisen dürfen, mögen hier nur die Familien der Coniferen, Umbelliferen, Araliaceen, Compositen, Pittosporeen, Alismaceen, Butomeen, Aroideen genannt werden, also solche, bei denen die Secrete in langgestreckten Längen auftreten, während wir kurze Lücken bei den Rutaceen, bei Hypericum und Oxalis-Arten, den Myrtaceen, Myoporeen, bei Primulaceen und Myrsineen etc. vorfinden.

Als secretführende Intercellularräume sind dann auch noch alle jene Spalten aufzufassen, welche in den Aussenwänden der äusseren Drüsen auftreten und hier zunächst zur Aufnahme des Secrets dienen, bevor es nach Sprengung der Cuticula nach aussen entleert wird. Das leuchtet sofort ein, wenn man die sogenannten Zwischenwanddrüsen von Psoralea und Rhododendron zum Vergleich herbeizieht.

Ihrer Entstehung nach sind also alle diese Behälter Intercellularräume, die, so weit die vorliegenden Untersuchungen ein allgemeines Urtheil erlauben, bei ihrer Bildung sofort mit dem Secret erfüllt sind. Die älteren Angaben, dass die secretführenden Lücken mit wenigen Ausnahmen schizogenen Ursprungs seien, d. h. dass das Secret zunächst im Plasmakörper einzelner Zellen auftrete und die Lücken durch Auflösung dieser Zellen entstehen sollten, sind für viele Fälle schon von Höhnel widerlegt, welcher für Myrtaceen, Hypericum, Oxalis, Amorpha die schizogene Entstehungsweise der Lücken nachwies. Dagegen sollen bei Rutaceen die Lücken doch lysigenen Ursprungs sein, und das ist jüngst auch von Kienast[1]) angegeben worden. Ich kann dem indessen nicht ohne weiteres beistimmen. Im Sommer 1883 untersuchte ich die Entwicklung der Oellücken bei Citrus Aurantium. In den jungen Blättern enthalten die Zellen dort wo sich später die Lücken finden, einen massenhaften farblosen körnigen Plasmakörper mit in der Mitte suspendirten Kern. Die Zellwände sind quellbar und glänzend. Herztröpfchen konnte ich im Zellinhalt nicht erkennen, doch färbt er sich mit Alkannatinctur tief roth. Das Secret tritt nun zuerst in den gequollenen Wänden, also intercellular auf und zwar in Form von kleinen linsenförmigen Tröpfchen, die in grösserer Anzahl benachbart liegen. Später vereinigen sie sich besonders in den Kanten und Ecken, wo mehrere Zellen zusammenstossen. Bald ist ein grösserer Tropfen vor-

1) Königsberger Dissertation 1885.

handen, der indessen noch von kleineren, die in den anstossenden Wänden liegen, umgeben ist und der dort, wo diese Wände auf ihn stossen, oft leistenförmige Kämme zeigt. Die umgebenden Zellen desorganisiren sich später. Ursprünglich ist aber auch hier die Entstehung eine schizogene. Auch für Ruta schien mir, entgegen Kienast's Angaben Aehnliches zuzutreffen, doch habe ich diese Form nicht so eingehend untersuchen können.[1])

Ob auch Myoporum und Gosyspium trotz Höhnel's entgegenstehenden Angaben sich ebenso verhalten, muss ich dahingestellt sein lassen, dagegen konnte ich nachweisen, dass die harzführenden Secretgänge, welche in der secundären Rinde von Hypericum und Androsaemum vorkommen, intercellulare Gänge sind, wie die Lücken in den Blättern, nicht aus der Verschmelzung von Zellreihen hervorgegangen, wie Höhnel wollte.

Secretführende Intercellularräume von sehr merkwürdiger Ausbildung finden wir bei einer Reihe von Pflanzenformen, die sogenannte einzellige Drüsen besitzen, so bei den Piperaceen, Laurineen, Magnoliaceen, Aristolochiaceen u. s. w. Zacharias[2]) hat vor einigen Jahren Angaben darüber gemacht, wonach das Secret in Form einer kleinen Oelkugel auftritt, die neben dem Kern im Centrum der Zelle dem Plasma eingelagert ist und mehr und mehr sich vergrössernd das letztere verdrängt. Obwohl wir nun schon früher einige Fälle angeführt haben, wo Tröpfchen ätherischen Oeles im Zellprotoplasma vorkommen und weiter unten noch viele derartige Fälle zu besprechen haben werden, so sind doch für die vorliegenden Objecte die Angaben von Zacharias nicht zutreffend, obwohl es zunächst genau so sich zu verhalten scheint, wie Zacharias angibt. Die Oeltropfen liegen nämlich nicht frei im Plasma, sondern in einer beutelförmigen Aussackung der Zellmembran. Diese Cellulosehülle ist zwar äusserst zart und in ihrem ganzen Umfang nur selten gut nachweisbar, immer aber ist die basale Partie, mit der sie einer Seitenwand ansitzt, von Anfang an vorhanden, und in Form eines Näpfchens mit cuticularisirter Membran gut zu erkennen, sobald man das Oel hinweggelöst hat (Vergl. Taf. I, Fig. 2).

Die jungen Drüsenzellen von Peperomia magnoliaefolia enthalten einen farblosen, maschigen Plasmakörper, der Kern ist im Innern suspendirt, aber meist der Wand einseitig etwas genähert und durch eine dickere Plasmabrücke an dieser Stelle mit ihr in Verbindung. In dieser

1) Anm. Nachträglich ersehe ich aus dem Referat über eine im vorigen Jahr erschienene Arbeit von van Tieghem (Ann. d. Sc. Nat. Botan. Sér. VII, Tome I. 1885. — Botan. Centralblatt, Bd. 26, 1886. S. 219), dass nach diesem Forscher bei den Rutaceen in der That, wie schon Frank angegeben, die Drüsen schizogener Natur sind.

2) Botan. Zeitung 1879.

tritt der Oeltropfen auf, innerhalb einer Ausstülpung der Membran, sodass er sofort an einem kleinen Stiel hängt.

Im Rhizom von Asarum europaeum ist der Plasmakörper der durch das ganze Gewebe zerstreuten Drüsenzellen hyalin und schön gekammert. Der Stiel, an welchem der Tropfen hängt, ist besonders dick und gut zu erkennen, er setzt sich in den kleinen Drüsenzellen der Epidermis an die Aussenwand an. Nach Lösung des Oeles durch Alkohol und Zusatz von conc. Schwefelsäure bleibt der hohle, trichterförmige Stiel sehr scharf contourirt zurück, er ist cuticularisirt und steht unmittelbar in Verbindung mit der cuticularisirten Schicht der Zellmembran. Der übrige Theil der Membran des Tropfens ist nicht cuticularisirt und nach Behandlung mit Schwefelsäure nicht mehr zu erkennen.

In den Zellen, welche fast vollständig mit Oel erfüllt sind, ist der Plasmakörper stark reducirt und körnig geworden, meist aber desorganisirt. Wo der Oeltropfen nur klein ist, finden sich im feinschaumigen Plasma dagegen viele und ziemlich grosse Stärkekörner vor, allerdings meist nur im wandständigen Plasma.

Bei Aristolochia clematitis untersuchte ich Drüsenzellen, welche sich im unterirdischen Theil des aufrechten Stengels vorfinden und zwar in einzelnen Zellen des interfascicularen Parenchymgewebes. Die Oeltröpfchen fand ich hier ziemlich klein, zuweilen zu 2 bis mehreren von verschiedener Grösse einem gemeinsamen Stiel entspringend. Sie sind von einer dickeren Lage hyalinen Plasmas umgeben, von dem Fäden nach den übrigen Theilen des Wandbelegs hinübergehen. Die näpfchenförmigen Stiele sind auch hier in Schwefelsäure unlöslich, der übrige Theil der umgebenden Membran ist an diesem Object nicht sicher nachweisbar.

Sehr schön ist der Stiel des Oeltropfens zu sehen bei Canella alba im Blatt, ferner auch ohne Schwierigkeiten nachweisbar bei Laurus nobilis, Liriodendron, Magnolia tripetala, Norberti und anderen Arten. Der polycentrische Plasmakörper ist hyalin und enthält bei Magnolia ebenfalls ziemlich viel Amylum. Der näpfchenförmige Stiel besitzt denselben Bau, wie er oben angegeben wurde, die zarte Membran ist auch hier nicht cuticularisirt.

Schwieriger ist der Stiel des Oeltropfens bei Acorus Calamus am lebenden Material zu erkennen, er ist den nicht gegen die Luftkammern gerichteten Theilen der Zellmembran angeheftet. Die Zellen zeichnen sich schon vor dem Auftreten des Oeltropfens vor den übrigen des Gewebes durch bedeutendere Grösse aus. Zuweilen fand ich zwei Tropfen in einer Zelle, nebeneinander liegend oder opponirt.

Nach der vorliegenden Darstellung entsprechen die Oelzellen der angeführten Pflanzen gewissermassen den Cystolithenzellen der Urticaceen

und Acanthaceen, nur ist der einseitig angeheftete Membranfortsatz bei ihnen hohl. So entsteht ein innerhalb der Zellhöhlung liegender „Intercellularraum", in welchem das Oel liegt, wie in den intercellularen Gängen.

Es ist nun eine bemerkenswerthe Thatsache, dass in vielen Fällen die in den intercellularen Räumen zur Ablagerung kommenden Substanzen einen ganz normalen Bestandtheil des Zellprotoplasma der betreffenden Pflanzen bilden. Wir haben schon zu Anfang dieses Kapitels eine Reihe solcher Formen aufgeführt: Pinus Mughus, Tsuga canadensis, Cedrus Libani, Rhus glabra, Hedera, Pistacia Lentiscus.

Schon N. J. C. Müller[1]) hatte vor längerer Zeit die bestimmte Angabe gemacht, dass bei Coniferen, bei Rhus, Pistacia, Hedera Harztröpfchen im Zellprotoplasma vorkämen, ohne dass indessen seinen Angaben allgemein Glauben beigemessen worden wäre, da er seine Untersuchungen an sehr dünnen Schnitten gemacht hatte, bei denen ein Irrthum durch das ausgeflossene Secret der Gänge gar zu leicht möglich ist.

Indessen steht die Thatsache durchaus fest, neben den oben schon erwähnten Formen zeigten mir noch viele andere mehr oder weniger beträchtliche Harzmassen im protoplasmatischen Zellinhalt.

In den Zweigen von Pittosporum Tobira finden sich Tropfen in grosser Menge und von beträchtlicher Grösse in allen Zellen, besonders im chlorophyllhaltigen Rindenparenchym und in den Markstrahlen.

Bei Ilex Aquifolium finden sich Tröpfchen harzartiger Natur von ziemlicher Grösse in allen Zellen in der Nähe des Vegetationspunktes. An letzterem selber sind sie aber nur klein, ebenso im Cambium. Weiter abwärts nimmt die Menge im Mark und in der primären Rinde ab, doch bleibt viel in der Epidermis und den unmittelbar darunter liegenden Schichten erhalten, ebenso im Weichbast. Auch die jungen Epidermishaare enthalten viel Oel.

Bei Liquidambar styraciflua fanden sich im einjährigen Trieb viele kleine Harztröpfchen in allen Zellen, besonders im Cambium, in den Markstrahlen und im Mark, dann auch in den Korkzellen. Nur wenig im Chlorophyllparenchym.

Bei Schinus molle finden sich in den Blattstielen zahlreiche kleine Harztröpfchen im farblosen Parenchym und in der Epidermis.

Psidium acre zeigt in den Zellen der Epidermis und der darunter liegenden Schichten einzelne ziemlich grosse Tropfen im plasmatischen Wandbeleg der Membran dicht angelagert.

---

1) Pringsh. Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. 5.

Auch bei den anderen Formen scheinen die Tröpfchen in Uebereinstimmung mit den im Anfang des Kapitels besprochenen Objecten den der Wand benachbarten Schichten eingelagert zu sein, doch lässt sich das hier meist nicht sicher entscheiden, da die Tropfen, wenn sie nur vereinzelt vorkommen und von bedeutender Grösse sind, den Wandbeleg weit gegen Zellsaft zu aufbauschen, wie besonders bei Pittosporum, und die vorhandenen Chlorophyllkörper sich dann natürlich nach den anderen Partien des Wandbelegs zurückziehen.

Ist der Plasmakörper polycentrisch gebaut, dann finden sie sich natürlich auch in den das Lumen durchsetzenden Fäden, aber nie im Zellsaft selber.

Ganz unmittelbar scheint sich die harzige Masse in den einzelligen Drüsen von Hedychium augustifolium (wohl auch der verwandten Formen) der Zellwand innen aufzulagern. In den jungen Drüsenzellen des Rhizoms liegt die Secretmasse von halbmondförmigem Durchschnitt einseitig der stark verkorkten Membran an. Der schaumige Plasmakörper ist zur Seite gedrängt und schwindet allmählich in dem Grade als die Secretmenge zunimmt. Oft ist einseitig noch ein ganz minimaler Zellraum mit einem winzigen Plasmakörper zu erkennen. Schliesslich füllt das Secret die Zelle ganz aus, das Plasma ist spurlos verschwunden.

In zahlreichen Pflanzengruppen finden sich Harzmassen und Harzemulsionen in grösserer Menge in bestimmten Zellen und Zellfusionen, den Harzschläuchen und Milchsaftgefässen aufgehäuft, so bei Compositen, Convolvulaceen, Apocyneen, Asclepiadeen, Urticaceen, Campanulaceen, Lobeliaceen, Papaveraceen, den milchenden Agaricus-Arten u. s. w.

Es scheinen nun auch bei diesen Harztröpfchen ganz verbreitet auch in den übrigen Gewebezellen vorzukommen.

Ich untersuchte zunächst mehrere Cynareen, welche bekanntlich gestreckte Secretschläuche in der Umgebung der Gefässbündel besitzen.

Bei Lappa tomentosa finden sich in den Zellen des Vegetationspunktes Harztröpfchen in nicht sehr grosser Anzahl den zarten Zellwänden beiderseits dicht aufliegend. Auch in den Zellen des Weichbastes junger Blattstiele fand ich sie, ebenso in den Epidermiszellen und in den Zellen der mächtigen Haare. In den letzteren werden sie auch in den Plasmafäden angetroffen.

Ebenso fanden sich solche Tröpfchen auch in den Haaren einer nicht näher bestimmten Cirsiumspecies und in geringerer Menge (1—2 Tropfen) im Wandbeleg der jungen Markzellen.

Ob auch in den Schläuchen selber das Harz einem Plasmakörper eingelagert ist, lässt sich meist nicht nachweisen, da sie zu sehr damit vollgepfropft sind. Die einzelnen Tröpfchen sind durch eine gummiähnlichen Eindruck machende Substanz miteinander verbunden. Nur bei Silybum marianum enthalten die Schläuche nur wenig Harz und

hier ist leicht zu erkennen, dass die Tröpfchen in einem gut ausgebildeten Plasmakörper liegen, wenn man bei der Präparation dafür sorgt, unverletzte Schläuche untersuchen zu können.

Nebenbei mag hier auch noch erwähnt werden, dass ich mich auch bei Pharbitis hederacea davon überzeugt habe, dass die Harztröpfchen in den Schläuchen des Blattstiels einem plasmatischen Wandbeleg eingebettet sind.

In den Epidermiszellen zahlreicher Apocyneen fand ich Tröpfchen, welche nach Aussehen und Reactionen in jeder Beziehung den Tröpfchen gleichen, die sich im Milchsaft der betreffenden Formen vorfinden. So bei Amsonia latifolia, salicifolia, tabernaemontana, ferner bei Nerium und Cynanchum fuscum. Besonders zahlreich sind sie bei Ams. latifolia, auch bei Nerium. Einen grösseren Tropfen mit 1—3 kleineren daneben fand ich bei Ams. tabernaemontana. Alle liegen im Plasmabeleg, der Wand dicht angeschmiegt. Sehr klein sind die Tröpfchen bei Cynanchum laxum, vergeblich suchte ich sie dagegen in der Epidermis bei Ams. androsaemifolia, cannabina, Vinca major, Periploca graeca.

Den Milchsaftkügelchen ganz entsprechende Tröpfchen finden sich auch in den Epidermiszellen von Lobelia syphilitica und L. Erinus in grösserer Menge, während ich sie bei L. fulgens nur vereinzelt, bei L. tricolor und ramosa in der Epidermis junger Pflanzen gar nicht nachweisen konnte.

Von Papaveraceen untersuchte ich Chelidonium, Bocconia und einige Papaver-Arten.

Bei Chelidonium majus treten die Milchsaftkügelchen in grosser Menge im Wandbeleg der Haarzellen auf, bei Pap. Rhoeas, P. caucasicum und bei Bocconia japonica suchte ich sie aber hier wie in den Epidermiszellen vergebens.

Von den milchsaftführenden Pilzen konnte ich einen nicht näher bestimmten Agaricus untersuchen, dessen reichliche weisse Milch von mildem Geschmack an der Luft ihre Farbe nicht änderte. Die Kügelchen des Milchsaftes fanden sich auch hier im Plasmakörper der übrigen Zellen in grösserer Menge, z. B. in den Basidien und den jungen Sporen. In den letzteren flossen sie später zu einem grossen Tropfen zusammen.

Der Milchsaft der Milchsaftgefässe soll nun nach Schmidt[1]) und Kallen[2]) dem Zellsaft entsprechen, die harzigen Tröpfchen sollen in diesem sich bilden.

Bei den Papaveraceen ist das ganz gewiss nicht der Fall. Es ist nicht schwer, sich zu überzeugen, dass die Milchsaftkügelchen im Plasmakörper liegen, wenn man die jungen Zellen vor der Resorption der

1) Botan. Zeitung 1882. S. 464. 2) Flora 1882. S. 86.

Querwände lebend untersucht. Bei Papaver Rhoeas sind sie ziemlich kurz, weitlumig und enthalten einen hellen schaumigen Plasmakörper mit centralem Kern. Im Wandbeleg und in den Plasmaplatten sind die Milchsaftkügelchen unschwer zu erkennen als stärker lichtbrechende Tröpfchen, nur ihre Zahl ist weit geringer als später im ausgebildeten Milchsaft. Auch bei Chelidonium lässt sich leicht dasselbe nachweisen.

Bei den Apocyneen, Asclepiadeen, Euphorbiaceen u. s. w., deren Milchsaftgefässe einzellig sind, ist es allerdings nicht möglich, die Lagerungsverhältnisse am lebenden oder conservirten Material direct festzustellen. In allen Schnitten sind sie gründlich gestört und auch die Conservation ganzer unverletzter Pflanzen führt hier nicht zum Ziel. Berücksichtigen wir aber die obigen Befunde, so kann es doch wohl nicht zweifelhaft sein, dass dieselben Tröpfchen nicht einmal in den Epidermiszellen im Plasmakörper, das anderemal in den Milchsaftschläuchen im Zellsaft liegen werden, wie Schmitz und Kallen annehmen, zumal da sich für die entsprechenden Gebilde bei den Papaveraceen direct ihre Lage im Plasmakörper nachweisen liess. Dennoch scheint der Milchsaft dieser Pflanzen ebenso gut als vollkommene flüssige Emulsion wie bei den Asclepiadeen, Euphorbiaceen u. s. w. Der Milchsaft ist in der That weiter nichts als ein eigenthümlich metamorphosirter Plasmakörper, in welchem auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung ein Saftraum nicht vorhanden ist, der aber gegenüber dem gewöhnlich in den Zellen sich findenden Plasmakörper durch grosse Leichtflüssigkeit charakterisirt ist.[1])

Die milchsaftähnlichen Emulsionen, wie wir sie in vielen intercellularen Secretbehältern, wie bei Rhus, Schinus molle, bei Alismaceen, Butomeen, Musaceen finden, lassen sich äusserlich von den in Zellen und Zellderivaten bei anderen Formen vorkommenden Milchsäften nicht unterscheiden. Es ist zu vermuthen, dass das im wesentlichen auch hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung gelten wird, obwohl, soweit mir bekannt, Untersuchungen darüber bisher noch nicht vorliegen. Von grossem Interesse dürfte es aber sein, dass der Inhalt der Gänge

1) Anm. Nachträglich muss hier noch bemerkt werden, dass neuerdings Arthur Meyer (Botan. Zeitung 1885, S. 434) eine kurze Notiz über das Vorkommen stark lichtbrechender, ölähnlicher Tropfen in assimilirenden Zellen gemacht, ohne indessen über ihre mikrochemischen Reactionen nähere Angaben zu machen. Dass es sich jedenfalls zum Theil um dieselben Ausscheidungen handelt, die wir hier besprochen haben, geht daraus hervor, dass Meyer theilweise dieselben Pflanzen, wie ich, untersucht hat. Meyer führt folgende Formen namentlich auf: Astrantia major, Eryngium planum, Betonica officinalis, Mentha viridis, Amsonia latifolia, salicifolia, Vinca major, Asclepias incarnata, Cynanchum Vincetoxicum, fuscatum, Lobelia cardinalis, Richardsonia scabra, Asperula odorata, Gentiana cruciata, Sonchus macrophyllus, palustris, Hieracium villosum, Solidago gigantea, Senecio salicetorum, Clarkia pulchella.

von Rhus glabra auch Substanzen eiweissartiger Natur enthält, soweit mikrochemische Reactionen darüber Aufschluss zu geben vermögen. Die harzigen Substanzen dieses Milchsaftes werden von starkem Alkohol leicht gelöst und es bleibt ein ziemlich voluminöser Rest von gerüstförmigem Bau zurück, der zum grössten Theil aus gummi- oder schleimartigen Substanzen zu bestehen scheint, da er nach Wasserzusatz sehr rasch gelöst wird. Es bleibt aber ein ziemlich beträchtlicher unlöslicher Rückstand, der ganz den Eindruck coagulirter Plasmamassen macht und der seinen mikrochemischen Reactionen nach, aus Eiweiss zu bestehen scheint.

Ob die entsprechenden Secrete anderer Rhus-Arten oder auch anderer hierher gehöriger Formen Aehnliches zeigen, bleibt noch näher zu untersuchen, bei Schinus molle konnte ich einen eiweissartigen Rückstand bisher nicht nachweisen. Erwähnt mag noch werden, dass das Secret von Rhus glabra auch wie viele echten Milchsäfte Gerbstoff enthält.

Eiweissführende schizogene Secretlücken sollen nach Höhnel[1]) auch im Blatte von Ardisia crenulata vorkommen.

Ich habe mich indessen nach einigen vorläufigen Reactionen von der Eiweissnatur dieser schleimähnlichen Masse nicht überzeugen können. Mehrtägige Einwirkung von Alkohol oder starker Jodlösung ist nicht im Stande die Substanz zur Coagulation zu bringen, sie löst sich nachträglich noch sehr leicht in Wasser bis auf zahllose kleine stäbchenförmige Körperchen, die durch ihre Form an Bacterien erinnern.

Ob in denjenigen Fällen, bei denen das Secret der Gänge eine im wesentlichen homogene Masse bildet, wie das meistens der Fall ist, nur diese Massen vorhanden sind oder noch nebenbei andere morphologisch differenzirte Inhaltsbestandtheile, die aber weniger auffallen, ist bisher nicht näher untersucht. Ebenso nicht, wie in den einzelnen Fällen die Zusammensetzung dieser Massen ist.

Der intercellular vorkommende Milchsaft ist nach der neuerdings wieder allgemeiner gewordenen Auffassung keineswegs als eine nutzlose Auswurfsmasse anzusehen, vielmehr enthält er, wie die Untersuchungen von Faivre und Schullerus zeigten, jedenfalls plastische Substanzen, die unter Umständen — vielleicht ganz normal im Leben der Pflanze — wieder in den Chemismus eintreten dürften. Die Annahme, dass das auch für die in ihnen enthaltenen Harz- und Kautschukmassen gelte, liegt weniger nahe, da die geringe chemische Reactionsfähigkeit dieser Substanzen dagegen spricht. Ohne weiteres lässt sich daraus freilich bei den in der Pflanze gegebenen complicirten Bedingungen nichts schliessen. Es darf aber nicht vergessen werden, dass sie auch, ohne am Chemismus sich weiter zu betheiligen, als sehr we-

1) Ber. der Wien. Akad. Bd. 84. S. 584. 1881.

sentliche Constituenten in den Aufbau des Plasmakörpers mit eingehen, für die Organisation desselben von fundamentaler Bedeutung sein könnten.

Die Annahme, dass die intercellular abgelagerten Emulsionen und Secrete dieselbe etwaige functionelle Bedeutung besitzen dürften, wie die intracellularen, scheint vorläufig durch verschiedene thatsächliche Verhältnisse nahegelegt.

Es ist jedenfalls eine beachtenswerthe Thatsache, dass in den Pflanzen in diesen Fällen Zellräume oder Derivate von solchen und Intercellularen unterschiedslos zur Ansammlung und Aufspeicherung von, ihrer Zusammensetzung und vermuthlich auch ihrer Function nach, sich entsprechenden Substanzen und Substanzgemengen benutzt werden. Diese Thatsache gewinnt aber erhöhte Bedeutung durch einige, erst in neuerer Zeit bekannt gewordene Verhältnisse, auf welche schon oben kurz hingedeutet wurde.

Vor drei Jahren hat zuerst Russow [1]) behauptet, dass in den Intercellularräumen der höheren Pflanzen ganz verbreitet plasmatische Massen vorkommen und er hat diese Angaben im Jahre 1884 in einer zweiten [2]) kurzen Publikation erweitert. Russow gab an, dass die Intercellularen ganz allgemein eine plasmatische Auskleidung besitzen. Zu ihrem Nachweis benutzte er Jodjodkaliumlösung und Schwefelsäure, sowie Chlorzinkjod, durch welche Reagentien nach Verquellen der Membran die Auskleidungen braun gefärbt werden, wie das Protoplasma der Zellen. Auch Anilinfarben gegenüber verhalten sich nach Russow diese Auskleidungen wesentlich wie das Zellplasma.

Wie schon oben erwähnt, veranlasste Russow's erste Publikation mich zu einer kurzen Mittheilung der Resultate entsprechender Untersuchungen [3]), welche ich durch eine Reihe schon oben angegebener Analogieschlüsse veranlasst, ebenfalls angestellt hatte und mit wesentlich demselben Erfolge wie Russow. Ich hatte mich ebenfalls zum Nachweis der Auskleidungen der Jodpräparate, sowie der Tinctionen mit Anilinfarben bedient, dazu auch einige Reactionen mit Kali und concentrirter Salzsäure gemacht, hatte aber meine mikrochemischen Untersuchungen nicht weiter fortgesetzt, da bald nach Russow auch Terletzki [4]) entsprechende Beobachtungen publicirte.

Es sind nun aber bald auch Stimmen gegen die von Russow und mir vertretene Deutung der vorliegenden, die Intercellularen auskleidenden Massen laut geworden, so von Gardiner [5]) und Schenk. [6])

1) Sitzungsber. der Dorpat. naturf. Gesellschaft. September 1883.
2) Ebenda, Aug. 1884.
3) Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft II, 1884.
4) Ebenda.
5) Nature 1885, 26. Februar.
6) Ber. der deutschen botan. Gesellschaft III, 1885.

Nach Gardiner sind die auch von ihm gefundenen Auskleidungen weiter nichts, als die verholzte oder in schleimige Substanz umgewandelte, an den Intercellularraum angrenzende äusserste Schicht der Zellwand.

Nach Schenk sollen sie ebenfalls aus umgewandelten Zellhautpartien hervorgehen und zwar aus der gespaltenen Mittellamelle der ursprünglichen Membran. Demgemäss findet Schenk die Auskleidung überall in Form eines scharf contourirten, glatten Häutchens entwickelt, so z. B. in den Luftgängen der Wassergewächse und bei Ligustrum.

Nach meinen Befunden muss ich nun diese letzteren Angaben von Schenk bestreiten. So für Staphylea pinnata, Rhamnus Frangula, Rhus glabra und besonders auch für Ligustrum. Ich finde hier den Beleg nach Behandlung mit Schwefelsäure oder Chlorzinkjod mehr oder weniger körnig, bei Ligustrum sogar einzelne Intercellularräume mit körniger Masse ganz erfüllt, oder solche wenigstens in den Ecken besonders stark angehäuft. Ich konnte ferner constatiren, dass im Alkoholmaterial von Ligustrum den Auskleidungen der Intercellularen in mehr oder weniger grosser Menge Tröpfchen oder Körnchen anhaften, die bei Zusatz von Wasser verquellen und verschwinden, z. Th. auch einen körnigen Rückstand lassen, der den Auskleidungen lose anhaftet.

Besonders muss ich hier aber noch darauf hinweisen, dass, wie ich schon in meiner ersten Mittheilung angegeben habe, nach Conservirung der betreffenden Objecte mit Lösung von doppeltchromsaurem Kali, die vorliegenden Intercellularräume oft vollständig mit einer gerbstoffhaltigen Flüssigkeit erfüllt sind, wie sie sich auch im Saft der umgebenden Zellen vorfindet. In der primären Rinde der Knospentheile fand ich im Winter sogar einzelne der sehr grossen spaltenförmigen Intercellularräume vollständig in dieser Weise erfüllt. Der Gerbstoff war in ihnen körnig niedergeschlagen, wie so oft auch in Zellsäften.

Da nach Schenk die Auskleidungen aus der Mittellamelle der Membran abzuleiten sind, so setzen sie sich nach ihm seitlich in diese fort und bilden mit ihr zusammen ein Gerüstwerk, welches die Zellräume allseitig umschliesst, also da, wo die Zellen sich noch direct berühren, in Form dünner Platten entwickelt ist. Ich muss auch diese Angabe für die von mir untersuchten Objecte durchaus bestreiten, besonders für Ligustrum. Die Auskleidungen stehen allerdings vielfach durch feine Fortsätze miteinander in Verbindung und z. Th. auch an solchen Stellen, wo in den feinen hier anzunehmenden Intercellularcanälen ein Lumen nicht nachzuweisen ist, aber das ist keineswegs immer der Fall. Oft fehlen solche Verbindungen zwischen benachbarten Auskleidungen vollständig und besonders sind diese Verbindungen nicht Platten, sondern Fäden, wenn auch oft verbreiterte. Das Ganze besitzt also einen gerüstförmigen, nicht einen kammrigen Bau wie Schenk will.

Schenk hat nun ferner schon darauf hingewiesen, dass bei Ligustrum in vielen Fällen sich in den Intercellularen grössere Massen ansammeln, die aus der Mittellamelle allein nicht abgeleitet werden können und die nach ihm darum für Secrete aus den angrenzenden Zellen oder für Producte localer Desorganisation der Membranen zu halten sind.

Mir hatten diese Massen ebenfalls nicht entgehen können, ich glaube aber, dass in ihnen wesentlich dieselben Substanzen, wie in allen übrigen Intercellularen vorliegen, nur dass ihre Masse eine bedeutendere ist. Dass sie chemisch starke Metamorphosen erlitten haben, wie schon Schenk angibt, beweist nichts gegen diese Auffassung, wie weiter unten gezeigt werden soll.

Dass die Auskleidung der Intercellularen mit der Zellmembran, speciell mit der Mittellamelle nichts zu thun hat, beweisen auch die Resultate einiger Untersuchungen, welche Herr Dr. Feist auf meine Bitte und unter meiner Controle im hiesigen pflanzenphysiologischen Institut nach dieser Richtung angestellt hat.

In den Intercellularen der Knollen und Winterknospen von Aconitum Napellus ist die Auskleidung ebenfalls sehr gut entwickelt, besonders in den collenchymatisch verdickten Rindenpartien, sowie zwischen den Markzellen. In den älteren Partien ist die Auskleidung mehr homogen und glatt, in der Knospe aber legen sich einer mehr homogenen der Membran anliegenden Partie Körnchen auf, oder sie ist auch ganz körnig (Taf. I, Fig. 6).

Auch hier zeigt Quellung mit Schwefelsäure, dass die Auskleidungen benachbarter Intercellularen, wenn überhaupt durch Fäden, nicht durch Platten miteinander verbunden sind.

Es lässt sich hier aber ein ganz sicherer Beweis gegen die Zulässigkeit der Auffassungen von Schenk und Gardiner dadurch erbringen, dass die betreffenden Auskleidungen in solchen Fällen, wo sie etwas stärker entwickelt sind, zur Abhebung von der Membran gebracht werden können, wie der Plasmabeleg der Zellen selber.

So gelang dies, als den Präparaten nach Jodfärbung starke Schwefelsäure zugesetzt, und die Säure nach zweistündiger Einwirkung erneuert wurde (Taf. I, Fig. 7).

Was nun die chemische Natur der vorliegenden Substanzen anbetrifft, so sollen sie, wie erwähnt, nach Gardiner aus verholzter oder verschleimter Membran hervorgehen. Dass das unrichtig ist, hat schon Schenk nachgewiesen, und auch Dr. Feist konnte bei Aconitum keine Andeutungen von Verholzung auffinden.

Schenk hat ausser seinen anatomischen auch noch mikrochemische Gründe zur Stütze seiner Ansicht herbeigezogen. Er fand nämlich, dass die die Intercellularen auskleidende Masse leicht von Salpetersäure und chlorsaurem Kali zerstört wird, also in dieser Beziehung mit der sog.

Intercellarsubstanz übereinstimmt. Schenks Schluss, dass darum die Massen unmöglich plasmatischer Natur sein könnten, ist aber durchaus unberechtigt, denn auch das Zellprotoplasma wird von diesem Reagens bekanntlich ebenfalls stark angegriffen und rasch oxydirt. Schenk fand freilich bei seinen Versuchen nach Zerstörung der Auskleidungen in den Zellhöhlungen noch Tropfen plasmatischer Massen vor, das erklärt sich aber einfach daraus, dass das Protoplasma in viel grösserer Masse vorhanden ist und dazu durch die umgebenden Zellhäute der Einwirkung des Reagenses viel mehr entzogen ist, als die frei zugänglichen dünnen intercellularen Auskleidungen. Welchen Werth besitzt im Uebrigen für die Entscheidung solcher Fragen auch ein Reagens, welches man nur lange genug braucht einwirken zu lassen, um in den Objecten die Membranen sammt allem Uebrigen vollständig zu zerstören?

Andere Beweise gegen die von Russow und mir vertretene Auffassung von der plasmatischen Natur der betreffenden Auskleidungen, werden von Schenk nicht beigebracht.

Die Uebereinstimmung, welche die Auskleidungen und der Zellinhalt in ihrem Verhalten gegen Chlorzinkjod und gegen Jod und Schwefelsäure zeigen, soll dagegen nicht in Betracht kommen können.

Darauf beschränkt sich aber die Uebereinstimmung keineswegs allein. Auch gegen Kali und concentrirte Salzsäure zeigten mir früher die Auskleidungen dasselbe Verhalten, wie der Zellinhalt, ebenso wie gegen einige Farbstoffe wie Fuchsin, Anilinblau, Safranin.

Einige etwas eingehendere Untersuchungen nach dieser Richtung hat auch Dr. Feist bei Aconitum angestellt. Derselbe fand die Auskleidungen in verdünnter kalter Kalilauge quellbar, in derselben Weise wie das Zellprotoplasma. Nach 30stündiger Einwirkung dieses Reagenses waren ebenso wie vom Zellprotoplasma nur noch geringe Reste der Auskleidungen übrig geblieben.

Verdünnte Salpetersäure löst die Auskleidungen nicht, ebenso wie das Protoplasma, wie das letztere färbt sie sie schwach gelb, besonders nach Zusatz von Ammoniak. Starke Salpetersäure löst bald alles auf.

Während ferner die Auskleidungen wie das Plasma anfangs gegen conc. Schwefel- und Salzsäure resistent sind, werden sie bei längerer Einwirkung sehr starker Säuren ebenfalls in Uebereinstimmung mit dem Plasma in Lösung übergeführt.

Verschwiegen darf dagegen bei dieser Gelegenheit nicht werden, dass es bisher nicht gelang, an frischem Material mit Zucker und Schwefelsäure bei den Auskleidungen die Eiweissreactionen zu erhalten. Während das Zellprotoplasma sich schön rosenroth färbte, nahmen die Auskleidungen nur einen gelbrothen Ton an.

Aus den Resultaten der Feist'schen Untersuchungen an Aconitum geht hervor, was auch mit meinen Resultaten bei Ligustrum stimmt,

dass die Auskleidungen später eine Metamorphose erleiden, mehr homogen werden und ein glänzendes Aussehen erhalten.

Es hat nun Schenk[1]) neuerdings auch die zuerst durch Lürssen bekannt gewordenen fädigen Bildungen in den Intercellularräumen der Marattiaceen näher auf ihre Reactionen und ihre Entwicklungsgeschichte untersucht. Er hat nachgewiesen, dass dieselben in den Intercellularen nachträglich entstehen, dass ihre Anlegung beginnt, kurz bevor die definitive Grösse der Organe erreicht ist. Schenk glaubt die Bildungen als Secrete auffassen zu sollen, welche, ähnlich wie die Wachsstäbchen der Cuticula, von den angrenzenden Zellen ausgeschieden werden.

Mir scheint nach den sämmtlichen Befunden Schenks eine andere Auffassung viel näher zu liegen, den Thatsachen viel angemessener zu sein, und Schenk würde gewiss auch selbst auf sie gekommen sein, wenn es nicht a priori für ihn festgestanden hätte, dass in den Intercellularräumen selbständige Bildungsvorgänge nicht statthaben können.

Ich sehe die Fäden für Producte der die Intercellularen auskleidenden Masse an.

Schenk hat nachgewiesen, dass die Auskleidungen sich auch hier vorfinden, und dass sie im Allgemeinen auch die Oberfläche der Fäden überziehen.

Diese letzteren bestehen nun nicht aus cuticularisirter Cellulose, wie Lürssen angenommen hatte, enthalten überhaupt keine Cellulose, sondern stimmen ihren von Schenk angegebenen Reactionen nach durchaus mit den bei anderen Pflanzen gefundenen Auskleidungen der Intercellularen überein. Das hat aber Schenk gar nicht beachtet. Sie werden gelb mit Jod, braun und tiefbraun mit Jod und Schwefelsäure und mit Chlorzinkjod. Sie lösen sich langsam in concentrirter Schwefelsäure und rasch in heisser Kalilauge und werden von Salpetersäure und chlorsaurem Kali leicht oxydirt.

Dr. Feist hat bei Aconitum gefunden, und damit stimmen auch die Befunde an Ligustrum, dass die jungen anfangs mehr körnigen Auskleidungen später ihr Aussehen ändern, homogener und glänzender werden.

Alle Umstände scheinen mir dafür zu sprechen, dass durch eine derartige Modification der Auskleidungsmasse auch die Stäbchen der Marattiaceen gebildet werden.

Nach Schenk sollen sie Secrete räthselhafter Natur aus den umgebenden Zellen sein und zwischen Membran und Auskleidung abgelagert werden. Ich habe nun gegen ihre Bezeichnung als Secrete an und für

---

1) Berichte d. deutsch. botan. Gesellsch. IV, 1886.

sich nichts einzuwenden, könnte auch die gewöhnlichen Auskleidungen wohl als solche bezeichnen, denn aus dem Plasma der umgebenden Zellen müssen sie sich ja auf alle Fälle ableiten, von ihm in die Intercellularräume hinein „secernirt“ sein. Da wir aber nicht um Worte streiten, so liegt wenig daran, welchen Namen man diesen Massen beilegen will.

Gerade die Thatsache, dass bei den Marattiaceen Bildungen bestimmter Form und Organisation auftreten, wie sie sonst nur unter dem Einfluss der bildenden Thätigkeit des Protoplasma entstehen, scheint mir ein schwerwiegender Grund für die Richtigkeit der Annahme zu sein, dass wie es in den Auskleidungen der Intercellularen mit Substanzen von plasmatischem Charakter zu thun haben.

Nach Schenk wachsen nun freilich die Stäbchen bei den Marattiaceen ohne Zweifel an ihrer Basis und verzweigen sich nicht wirklich, wie Lürssen angenommen hatte, sondern verkleben nur miteinander. Der Grund dafür ist ihm aber seine Annahme, dass sie als Secrete durch die Membran der benachbarten Zellen austreten, denn „Spitzenwachsthum dürfte ausgeschlossen sein, denn die Fädensubstanz erscheint völlig homogen, es ist im Innern kein feiner Canal vorhanden, durch den neue Substanz den Enden zugeführt werden könnte.“

Auch für die Annahme, dass eine wirkliche Verzweigung der betreffenden Fäden nicht vorkomme, wie es doch das ganze Aussehen nahe legen muss, führt Schenk einen Beweisgrund nicht an, nur seine Ansicht über die Entwicklungsweise der Stäbchen ist dafür massgebend. Er glaubt ferner, dass die Substanz der Stäbchen, die doch in jeder Beziehung den Eindruck fester Massen machen, von schleimiger oder halbflüssiger Consistenz sei, „da sich sonst nicht vorstellen lässt, wie sie durch die Zellwand hindurch wandern kann und wie die Stäbchen miteinander verschmelzen.“

Das vorläufige Resultat der vorstehenden Ausführungen scheint mir das, dass bis jetzt die sämmtlichen bekannt gewordenen Thatsachen, besonders auch die unbefangen gewürdigten Resultate der neuesten Untersuchungen von Schenk viel mehr für die von Russow und mir ausgesprochene Ansicht sprechen, als gegen dieselbe, wie Schenk meint.

Auf welchem Wege nun diese Massen aus den Zellen, denen sie offenbar entstammen müssen, in die Intercellularen gelangen, können wir hier wohl unerörtert lassen. Russow hat angegeben, dass bei Acer die Auskleidung der Intercellularen mit dem Zellprotoplasma durch feine Poren in der Membran communicirt. Schenk hat solche Poren, bei den von ihm untersuchten Objecten, nicht angegeben. Ich selber habe auf diesen Punkt nicht weiter geachtet, auch deshalb nicht, weil er vorläufig in dieser Frage bedeutungslos ist. Denn das Fehlen sol-

cher Poren würde nichts beweisen, da wir gar keinen Grund haben, zur Ermöglichung des Stoffaustausches in der Pflanze solche Membranperforationen allgemein zu fordern.

Erweisen sich bei weiterer Untersuchung die Auskleidungen der Intercellularen als wirklich von plasmatischer Natur, so kann doch daran kein Zweifel sein, dass sie ihrer functionellen Bedeutung nach, mit dem Zellprotoplasma nicht parallelisirt werden dürfen. Eine dem letzteren entsprechende Gliederung und Organisation fehlt den Auskleidungen durchaus und die entgegenstehenden Angaben Schaarschmidts[1]) sind schon von Russow gebührend gewürdigt worden. Die Function der Auskleidungen muss darum zunächst dahingestellt bleiben.

Es liegen nun aber noch weitere Gründe indirecter Natur vor, die mir für die Annahme, dass auch die Intercellularraumseite der Zellmembranen von einer, wenn auch oft äusserst dünnen Schicht plasmatischer Substanz überzogen ist, bedeutsam in die Wagschale zu fallen scheinen. Das sind die Symmetrieverhältnisse dieser die Intercellularräume begrenzenden Membranpartien.

Da der Intercellularraum sich durch die Spaltung der ursprünglichen Membran in zwei Hälften bildet, so sollte man auch erwarten, dass die Symmetrieverhältnisse der auskleidenden Membranpartien dem entsprechend diejenigen einer Zellwandhälfte sein würden. Das ist aber nicht der Fall, die Membran zeigt nach den Intercellularräumen zu, dieselben Symmetrieverhältnisse, wie zwischen zwei Protoplasmakörpern, und diese stellen sich nachträglich in ihr her. Freilich gestatten äussere Umstände sehr oft nicht, hierfür den Nachweis zu führen, aber die Fälle, in denen es mit Sicherheit gelingt, sind hinreichend zahlreich, um eine Verallgemeinerung zu gestatten.

So finde ich in der Wand der Secretgänge von Hedera Helix, die im Leben sehr dünn ist, bei vorsichtiger Behandlung mit Schwefelsäure und Chlorzinkjod drei Schichten, eine etwas stärker quellende mittlere und jederseits zwei weniger quellende mit stärkerem Lichtbrechungsvermögen, gleichmässig entwickelt, wie in den Trennungsmembranen zweier Zellen (Taf. I, Fig. 5). Auch bei Panax arboreum und Pittosporum Tobira gelang es mir, nach schwacher Quellung einen entsprechenden Bau der betreffenden Membranen nachzuweisen, während bei Schinus molle, Hypericum calycinum, Pinus austriaca, Tsuga canadensis nichts Sicheres festzustellen war.

Dagegen konnte ich denselben Bau sehr gut an der die gewöhnlichen Intercellularräume auskleidenden Membran im primären Rindengewebe junger, noch grüner Triebe von Hypericum calycinum nach schwacher Quellung mit Schwefelsäure nachweisen, wie auch an den entsprechen-

1) Ref. im botan. Centralblatt. Bd. XVIII und XIX. 1884.

den Stellen von Hedera Helix, Panax arboreum, Hyacinthus, im Blattstiel von Sparmannia acrifolia, Delphinium Staphysagria, Saxifraga crassifolia. Bei den letzteren drei Formen schon ohne vorhergegangene Quellung.

In einigen Fällen fand ich die betreffenden Membranen schwach verholzt, und dann war je eine verholzte Lamelle den bei anderen Formen schwächer quellenden Schichten eingelagert, wie es die angenommenen Symmetrieverhältnisse verlangen. Zum Nachweis der Verholzung eignet sich in diesen Fällen besonders gut eine schwach weinrothe Lösung von Fuchsin in 50% Glycerin, welche gerade schwach verholzte Membranlamellen rasch und äusserst intensiv färbt.

So zeigt dieses Reagens in der die kleinen Intercellularräume im Rindenparenchym des Blüthenschaftes von Oxalis Deppei umgebenden Membran zwei intensiv roth gefärbte Streifen, welche durch eine mittlere hell bleibende Schicht voneinander getrennt und je durch eine ebensolche Schicht nach der Zellhöhlung resp. dem Intercellularraum zu bedeckt sind. Die entsprechenden Trennungsmembranen zweier Zellen zeigen denselben Bau.

Denselben Bau fand ich bei Astragalus Cicer im Mark des ausgewachsenen, nicht zu alten Triebes, ferner bei Villarsia parnassifolia und nicht so deutlich entwickelt zuweilen bei den schon oben erwähnten Formen Saxifraga crassifolia und Delphinium Staphysagria.

Eine nothwendige Consequenz der vorstehenden Ausführungen ist, dass auch an der freien Aussenseite von Zellen und Gewebetheilen die Membran nicht mehr als eine der Aussenfläche des Plasmakörpers aufgelagerte aufgefasst werden darf.

Es war nun im Voraus nach der ganzen Sachlage nicht sehr wahrscheinlich, dass sich hier den Auskleidungen der Intercellularen entsprechende Massen würden nachweisen lassen und ich habe auch eine grössere Zahl von Objecten vergeblich daraufhin geprüft. Aber auch hier ergibt sich auf indirectem Wege ein Resultat, welches den theoretischen Folgerungen durchaus günstig genannt werden muss.

Zunächst kommen hier wieder die Symmetrieverhältnisse der gegen die Aussenwelt gewandten Membranpartien in Betracht.

Trotzdem nach den bisherigen Untersuchungen das Verhalten hier ein wesentlich anderes zu sein scheint, zeigt dennoch die Epidermis-Aussenmembran im Grunde wieder die bisher gefundenen Symmetrieverhältnisse. Nur die Ausbildung der beiden Hälften ist in quantitativer Beziehung eine durchaus ungleiche, und daher rührt das Abweichende des ersten Eindrucks. Aber die Differenzen übersteigen in keiner Weise das, was wir auch an Zwischenzellmembranen zu finden gewohnt sind, z. B. da, wo eine zartwandige Parenchymzelle an einen Secretbehälter oder an eine verdickte Zelle angrenzt.

Die Epidermismembranen sind nach aussen von einer Cuticularlamelle „überdeckt". Schon Höhnel hat auf die näheren Beziehungen zwischen der Verkorkung und der Cuticularisirung der Membranen hingewiesen, und in der That gelingt es bei schwach entwickelter Cuticula in zahlreichen Fällen auch leicht, sich zu überzeugen, dass in ihr, wie bei den verkorkten Membranen die Cuticularlamelle beiderseits von einer dünnen verholzten Membranschicht eingefasst ist, und es lässt sich oft auch nachweisen, dass die nach aussen gelegene verholzte Lamelle noch von einer zarten nicht verholzten Membranschicht überzogen ist.

So war die Cuticularschicht, die bei Behandlung mit Chromsäure oder Jodlösung tief braun wird und mit Fuchsin-Glycerin sich intensiv roth färbt, an der Oberfläche von einer zarten hellbleibenden Schicht überzogen bei vielen Sileneen und Malvaceen, wie Lychnis chalcedonica, Agrostemma Githago, Silene gonocalyx; Althaea rosea, Lavatera arborea, Malva silvestris, Malope grandiflora, Kitaibelia vitifolia, ferner bei Astragalus Cicer, Statice tartarica, Plumbago europaea, Ephedra distachya. Bei der letzteren Pflanze ist diese Schicht auffallend stark lichtbrechend und es sind ihr kleine Körnchen von oxalsaurem Kalk eingelagert, an deren Stelle nach Behandlung mit Salzsäure dunkle Punkte auftreten. Das starke Lichtbrechungsvermögen der Schicht geht dabei verloren.

Die Einfassung der Cuticularlamelle durch zwei verholzte ist besonders schön im Blatt von Sanseviera carnea (Taf. I, Fig. 4), im jungen Trieb von Hoya variegata in einem gewissen Altersstadium kurz vor Beginn der Korkbildung und bei Phytolacca spec. zu erkennen. Fuchsin-Glycerin zeigt hier zwei prachtvoll roth gefärbte dünne Streifen, welche die mit Jod und mit Chromsäure sofort braun werdende Cuticularlamelle beiderseits begrenzen. In den meisten übrigen Fällen, wo eine dünnere äussere Cuticula vorliegt, zeigt das Reagens nicht so deutlich getrennte, oder nur einen einzigen breiteren rothen Streifen, indem die cuticularisirte mittlere Lamelle hier ebenfalls mit gefärbt wird oder zu dünn ist, um als ungefärbte Schicht sichtbar zu werden.

An einigen anderen Objecten habe ich mich übrigens auch davon überzeugt, dass auch mit Phloroglucin und Salzsäure und mit Anilinsulfat die Verholzung in der Cuticula nachgewiesen werden kann.

Mit dem erstern Reagens erhielt ich intensive Rothfärbung der Cuticula der Blattstiele von Helleborus viridis, Ligustrum, Pontederia crassipes, Cypripedium barbatum. Bei Sanseviera carnea und besonders auch im halbausgewachsenen Blüthenschaft von Cypripedium insigne zeigt das Reagens, wie Fuchsin-Glycerin in den oben angeführten Fällen, ebenfalls zwei schmale verholzte Lamellen sehr nahe nebeneinander. Dasselbe ist auch der Fall im Blatt von Agapanthus und in den Ausläufern von Chlorophytum Sternbergianum, bei denen schwach entwickelte Cuticularschichten auftreten.

Gelbe Färbung mit Anilinsulfat erhielt ich bei Sanseviera und Helleborus, andere Formen wurden damit nicht näher behandelt.

Auch bei der Anwendung von Phloroglucin und Salzsäure konnte ich einen farblos bleibenden Streifen der Membran ausserhalb der Cuticula nachweisen bei Sanseviera carnea, Cypripedium insigne und in den Ausläufern von Chlorophytum Sternbergianum.

Gegen die Zellhöhlung zu ist eine cuticularisirte oder auch nur verholzte Schicht, welche also der äusseren Cuticularlamelle entspricht, in der Membran der Epidermiszellen im Allgemeinen nur schwach entwickelt oder auch gar nicht nachweisbar. Recht gut fand ich sie bei Sileneen ausgebildet, besonders bei Lychnis chalcedonica in der Epidermis des etwas älteren Stengels. Die innere Lamelle färbt sich hier mit Fuchsin in ganz ausgezeichneter Weise, fast ebenso intensiv wie die äussere, sie umzieht die ganze Epidermiszelle, gegen das Lumen zu natürlich von einer reinen Celluloselamelle überdeckt und widersteht concentrirter Schwefelsäure, ist also cuticularisirt (Taf. I, Fig. 3).

Bei Agrostemma Githago, Saponaria, Gypsophila scorzonerifolia, Silene gonocalyx fand ich sie viel zarter, aber ebenfalls gut und scharf hervortretend. Sie ist aber bei diesen Formen nicht ebenso um die ganze Zelle herum sicher zu verfolgen. Fast ebenso gut nachweisbar wie bei Lychnis war sie im Rhizom von Menyanthes. Bei Malvaceen ist sie meist schwach entwickelt, am schönsten zeigte sie Hibiscus africanus. Auch bei der oben erwähnten Hoya, bei Plumbago europaea, Statice tartarica, Phytolacca, Astragalus Cicer konnte ich sie durch die Rothfärbung mit Fuchsin, oder die Braunfärbung mit wässriger Jodlösung nachweisen.

Besonders instructiv sind aber noch die Epidermen von Cycadeen, wie Ceratozamia und Dioon. Hier sind die Membranen der Epidermiszellen bekanntlich stark verdickt und verholzt, und diese Schichten entsprechen durchaus den gewöhnlich in Epidermiszellen nur schwach entwickelten inneren Schichten. Die äussere Cuticularlamelle ist bei diesen Formen sehr zart und dünn, und erst gut zu erkennen, wenn man Schwefelsäure oder Chromsäure anwendet.

Die an den Epidermismembranen gewöhnlich am meisten in die Augen fallende, dicke, stark glänzende Mittelschicht entspricht also der Mittellamelle der Zwischenzellwände, was auch daraus hervorgeht, dass sie seitlich direct in diese übergeht.

Wir haben bisher bei der vorstehenden Betrachtung die stärker cuticularisirten Epidermen, wie sie z. B. bei Acer, Ilex, Nerium u. s. w. vorkommen, ausser Acht gelassen. Auch hier zeigt Färbung mit Fuchsin an der Innenseite eine intensiv roth werdende innere Schicht an, welche die bekanntlich mit Spitzen und Zacken nach innen vorspringende Cuticularlamelle überdeckt. Auf der nach aussen gewandten Seite tritt

solche aber in diesen Fällen nicht mehr auf, auch keine farblos bleibende Lamelle, wie wir sie oben fanden. Es ist das aber leicht erklärlich, die massenhafte Production der die Cuticularisirung bedingenden Fettsubstanzen muss hier die äusseren Schichten bald zerstören, die sich bei der Verfolgung der Entwicklungsgeschichte vermuthlich auch hier werden nachweisen lassen.

Die vorstehenden Untersuchungen beziehen sich nur auf höhere Pflanzen. Ich habe die Aussenmembranen von Cryptogamen, besonders von Algen verschiedentlich ebenfalls auf ihre Symmetrieverhältnisse untersucht, musste mich indessen bald überzeugen, dass hier einige auf Gerathwohl herausgegriffene Einzelfälle nicht ausreichen, um einen Einblick in die Verhältnisse zu gestatten. Ich muss darum diese Frage hier dahingestellt sein und ihre Beantwortung näheren Untersuchungen überlassen, möchte aber doch hier auf die von Strasburger schon vor längerer Zeit und in seinen Untersuchungen über die Zellhäute wiederum besprochene Ulothrix zonata hinweisen, bei der die Uebereinstimmung im Bau der Zwischenzellwände und der freien Aussenwände aufs schönste zu Tage tritt.

Wenn es nun auch bisher im Allgemeinen nicht gelang, eine die Oberhaut überdeckende plasmatische Schicht direct nachzuweisen, so gibt es doch unter den niederen Organismen verschiedene Formen, bei denen die Verhältnisse in dieser Beziehung wesentlich anders liegen. So hat schon Max Schultze[1]) erkannt, dass die Art der Bewegung der Diatomeen, die Natur der Bewegung von ihrer Oberfläche anhaftenden Körnchen die Annahme einer auf der Aussenfläche der Membran vorhandenen Plasmaschicht mit Nothwendigkeit fordern. Neuerdings hat auch Th. W. Engelmann[2]) mit Entschiedenheit diese Ansicht vertreten. Derselbe gibt an, zwar nicht bei Diatomeen, aber bei einer grossen Oscillarienform, die bekanntlich Ortsbewegung von ähnlichem Charakter wie die Diatomeen zeigen, diesen Plasmabeleg wirklich durch starke Inductionsschläge und durch starke Salpetersäure sichtbar gemacht zu haben.

Auch bei verschiedenen niederen Thierformen finden wir die Membran auf ihrer äusseren Seite von Plasma überzogen, diesem also vollständig eingelagert. So vermuthlich bei ciliaten Infusorien und sehr schön bei Rhizopoden und Radiolarien. Die bei den ersteren der Cuticula aufsitzenden Cilien sollten nach den früheren Angaben die letztere durchbohren und Fortsätze der inneren Leibessubstanz sein. Indessen hat Fisch[3]) neuerdings nachgewiesen, dass bei den Flagellaten die Cilien der Cuticula aufsitzen, „Fortsätze derselben sind".

1) Arch. f. mikrosk. Anatomie, Bd. I, 1865.
2) Botanische Zeitung 1879, S. 49.
3) Zeitschr. f. wiss. Zoologie, Bd. XLII, 1885.

Dagegen ist es leicht, sich bei Difflugien und Gromien, sowie bei polythalamen Rhizopoden davon zu überzeugen, dass die Schale aussen von Protoplasma überzogen ist, und bei den Radiolarien ist bekanntlich diese „extracapsuläre Sarkode" besonders massenhaft entwickelt. Man könnte freilich einwenden, weder die Cuticula der Infusorien, noch die Gehäuse der Rhizopoden und die Centralkapseln der Radiolarien seien den Membranen der Pflanzenzellen zu homologisiren, aber bei der principiellen Uebereinstimmung, die im Bau der pflanzlichen und thierischen Zellen herrscht, ist es vorläufig durchaus gerechtfertigt, diese Homologie als bestehend anzunehmen. Es ist nicht abzusehen, welcher triftige dagegensprechende Grund angeführt werden könnte. Die Centralkapsel der Radiolarien halten auch Hertwig[1]) und neuerdings K. Brandt[2]) für ein Homologon der Zellmembran.

Dieser hypothetische, im Allgemeinen nicht direct nachweisbare plasmatische Ueberzug auf der äusseren Seite der Zellmembranen dürfte freilich bald, besonders an den in der Luft befindlichen Pflanzentheilen rasch der Desorganisation anheimfallen.

Es ist ja überhaupt nicht anzunehmen, dass er im Chemismus u. s. w. eine grosse Rolle spielen wird, wenn auch in der Beziehung sichere Anhaltspunkte zunächst nicht zu gewinnen sind.

Aus Gründen der Symmetrie scheint seine Annahme geboten, und die oben angeführten Thatsachen scheinen mir von hinreichendem Gewicht, um für diese Annahme auch als, wenn auch indirecte, thatsächliche Belege gelten zu können.

Die Zellmembran ist zunächst nicht ein Apparat zum Schutze gegen schädliche äussere Einflüsse, sondern ein Stützapparat für das mechanisch leistungsunfähige Plasma, demselben einen Halt, eine feste Form zu geben bestimmt.

Erst secundär wird sie durch Cuticularisirung, Verkorkung, Verkieselung u. s. w. wesentlich zu einer Schutzvorrichtung. So erklärt es sich, dass sie im Innern der plasmatischen Systeme abgelagert wird, nicht auf der Oberfläche derselben.

Als Resultat der vorstehenden Ausführungen ergibt sich schliess-

---

1) Zur Histologie der Radiolarien, Leipzig 1876.

2) Die koloniebildenden Radiolarien. Fauna und Flora des Golfes von Neapel. XIII. Monographie.

Nachträglich mag hier noch darauf hingewiesen werden, dass nach Brandt's Resultaten auch bei den Radiolarien besonders schöne Beispiele concentrisch geschichteter Plasmakörper vorkommen. Die schematisirten Abbildungen, welche der Verfasser auf Taf. V von der Substanzanordnung in zur Isosporenbildung sich anschickenden Centralkapseln gibt, zeigen das am besten. So Fig. 3 für Collozoum inerme, 8 für C. pelagicum, 15 für Siphonosphaera tenera, 47 für Collosphaera Huxleyi.

lich noch eine bedeutsame Consequenz hinsichtlich der Definition des Begriffes der Zelle.

Eine Gewebezelle, die im Verband mit ihren Nebenzellen steht, ist zunächst morphologisch gar nicht mit einer isolirt lebenden Zelle, etwa einer einzelligen Alge vergleichbar. Denn die letztere besteht aus zwei Theilen, der inneren Plasmamasse mit der entsprechenden Membranhälfte und der äusseren Hälfte der letzteren mit dem hypothetischen Plasmaüberzug. Nur der ersteren Hälfte entspricht die Gewebezelle mit ihrem Plasmakörper.

Die beiden Theile des einzelligen Organismus würden von topographisch-anatomischen Gesichtspunkten aus als gleichwerthig zu betrachten sein, wenn auch in ihrer Ausbildung und functionell noch so sehr von einander verschieden.

Wenn es sich um eine klare Auffassung der hier bestehenden Beziehungen handelt, dürfen diese Verhältnisse nicht ausser Acht gelassen werden, wenn es auch aus praktischen Gründen nicht geboten sein dürfte, auch in der Nomenclatur hierauf Rücksicht zu nehmen, also für die „Zelle" im Gewebe und im einzelligen Organismus verschiedene Bezeichnungen zu wählen.

Bekanntlich hat ja Sachs vorgeschlagen, die früher als einzellige zusammengefassten Organismen lieber „nicht celluläre" zu nennen. Diese Auffassung findet auch durch das Vorstehende eine gewisse Stütze, und sie ist berechtigt und von grosser Bedeutung, sobald man die einzelne Zelle als einen Theil des Ganzen richtig auffassen will, sobald es gilt zu zeigen, dass die einzelnen Theile einer Caulerpa-, einer Mucorpflanze nicht den einzelnen Theilen einer Gewebezelle, sondern allein den einzelnen Organen einer höheren Pflanze vergleichbar sind. Aber ich kann mich doch in Uebereinstimmung mit Pfeffer und Anderen diesem Vorgange von Sachs nicht anschliessen, denn es wird dabei die trotz aller Unterordnung unter das Ganze bestehende Selbständigkeit der Gewebezelle zu sehr vernachlässigt. Sie ist nicht nur das Raumelement, eine Kammer im Gebäude des pflanzlichen Organismus, jede besitzt selber die Natur eines Elementarorganismus, der in zahllosen Fällen aus dem Verbande des Ganzen sich loslösend zu einem selbständigen Individuum sich zu entwickeln vermag, wenn das auch nicht ohne weiteres von jeder lebenden Zelle eines höheren pflanzlichen Organismus ausgesagt werden darf.

Mehr nebensächlich ist bei der Unzulässigkeit aller schematisirenden Begriffsabgrenzung in den biologischen Wissenschaften, die Unmöglichkeit irgendwo die Grenze zwischen den cellulären und nichtcellulären Pflanzen zu ziehen, wie sich leicht ergibt, wenn man sich Formen wie die Cladophoreen, Griffithien, Bornetia u. s. w. vergegenwärtigt.

Als Zelle bezeichnen wir darum das allseitig nach aussen abgegrenzte plasmatische System, welches die oben auseinandergesetzten Symmetrieverhältnisse zeigt, sobald es den Charakter des Elementarorganismus besitzt. Ob die benachbarten Zellen sich dabei in einer bestimmten Symmetrieebene der Cellulosemembran, oder in einer entsprechenden Ebene ihrer aneinanderstossenden symmetrischen Plasmalamellen voneinanderscheiden, ist dabei unwesentlich. Wir scheiden darum aus, alle innerhalb einer Zelle in einem schaumigen oder gerüstförmig schaumigen Plasmakörper etwa vorkommenden entsprechenden Systeme, so lange sie sich nicht selbständig als Elementarorganismen individualisiren, wie das ja allgemein in den Sporangien der Algen und Pilze bei der Entstehung von Schwärmern und Sporen durch freie Zellbildung statt hat.

ZWEITES KAPITEL.

Feinerer Bau, physikalische Natur und Organisation des Zellkörpers.

Die eingehenden neueren Untersuchungen über die feineren Bauverhältnisse des Plasmakörpers haben sich zunächst hauptsächlich dem Zellkern und den Chlorophyllkörpern zugewandt, weshalb diese beiden Organe augenblicklich die am besten bekannten des Plasmakörpers sind. Unsere Kenntnisse über den Zellkern verdanken wir in erster Linie den neueren Arbeiten von Strasburger und Flemming. Der letztere hat vor wenigen Jahren in seinem bekannten vortrefflichen Werk auch den Bau des Zellkerns in eingehendster Weise zusammenfassend behandelt. Wir können darum hier auf dasselbe ein für allemal verweisen und uns mit einer kurzen Darlegung und Besprechung der Hauptresultate der bisherigen Untersuchungen begnügen.

Der Zellkern ist danach eine von dem umgebenden Plasma immer scharf abgegrenzte Masse, welche sich in der Regel in drei morphologisch unterschiedene Bestandtheile gliedert: Die Grundmasse (Kernsaft, Nucleochyma Strasburgers), das Kerngerüst (Nucleoplasma Str.) und den in Ein- oder Mehrzahl vorhandenen Nucleolus. Accessorische Bestandtheile sind in manchen pflanzlichen Kernen die Krystalloide, so bei Lathraea, Pinguicula, Utricularia, in den Borstenhaaren von Urtica urens. Wir brauchen ihnen hier eine nähere Besprechung nicht zu widmen.

In der Regel ist das Nucleoplasma in der Form eines Gerüstwerkes entwickelt, nur in den von Balbiani[1]) zuerst näher beschriebenen Kernen der Spinndrüsen der Chironomuslarve findet sich auch im Ruhezustande ein Fadenknäuel.

Sehr eigenthümliche Structuren besitzt es ferner noch nach Flemmings Darstellung in den Kernen der Ovarialeier von Fischen, wegen welcher hier auf das Original verwiesen werden kann.

1) Zoolog. Anzeiger 1881, Nr. 99, 100.

Strasburger[1]) hat sich der von Flemming vertretenen Auffassung über den gerüstförmigen Bau der Fadensubstanz des Kernes wieder angeschlossen, nachdem er früher im Anschluss an Balbiani die Anschauung vertreten, dass der Kern einen Fadenknäuel enthalte, hauptsächlich gestützt auf Untersuchungen an Liliaceen-Kernen.

Allerdings nimmt Strasburger neuerdings an, dass in dem Gerüstwerk der Fadenknäuel, wenn auch nicht nachweisbar, persistire, da es sonst schwer zu begreifen wäre, dass er sich bei Beginn der Theilung wieder aus demselben herauszubilden vermöge.

Ich selber möchte auch jetzt noch daran festhalten, dass das Vorkommen eines Fadenknäuels eine auch im ruhenden Zellkern häufigere Erscheinung sei. So liefern mir die Kerne von Hyacinthus orientalis, Aloë spinulosa (aus der Basis des jungen Blattes) und von Tradescantia virginica (ebendaher, Pollenfach) Bilder, die ich unmöglich auf ein Gerüstwerk glaube beziehen zu können. Ausserordentlich deutlich wurde bei Hyacinthus die Structur nach vorhergegangener künstlicher Verdauung mit Pepsin-Glycerin und vorsichtiger Färbung mit Methylgrün in Wasser. Aber auch gut gefärbte Safraninpräparate zeigen mir nichts anderes.

Ob der Knäuel bei den erwähnten Formen aus einem einzigen Faden besteht, lässt sich natürlich nicht feststellen.

Die Fäden des Gerüst- oder Knäuelwerks setzen sich nach Strasburger[2]) im Anschluss an Pfitzner[3]) aus homogener Grundmasse und eingelagerten Körnchen, die allein färbbar sind, zusammen, Flemming konnte wohl eine feine Granulirung aber keine scharf abgegrenzten Körnchen erkennen.

Ich selber habe diese Frage nicht näher studirt und muss mich deshalb eines eigenen Urtheils hier enthalten, in den gewöhnlichen Präparaten sehe ich die Fäden im wesentlichen homogen tingirt, mit Ausnahme der nach der Theilung sich wieder reconstruirenden Kerne, auf welche in einem späteren Kapitel zurückzukommen ist.

Der Nucleolus ist in Ein- oder Mehrzahl vorhanden und scheint bei höheren Formen nach den bisher vorliegenden sicheren Beobachtungen nie zu fehlen. Er ist von abgerundeter, tropfenähnlicher Gestalt, besitzt ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen als die übrigen Kernsubstanzen, zuweilen lassen sich vacuolenähnliche Räume in ihm erkennen, die aber zweifelsohne nicht immer vorhanden sind.

Nach Flemming liegen die Nucleolen meist in Gerüstbalken suspendirt, Strasburger fand sie nicht im Gerüstwerk entstehend, sondern an demselben. Ich selbst habe an pflanzlichen Objecten bisher

1) Controversen der indirecten Kerntheilung, Bonn 1884, S. 6.
2) A. a. O., S. 5.
3) Archiv f. mikr. Anatom. Bd. XXII.

weder eine Lagerung innerhalb von Gerüstbälkchen, noch eine seitliche Verbindung mit denselben wahrnehmen können. Mir schienen sie keine directe Beziehung zu demselben zu haben, sondern wie differente Tropfen der Grundmasse des Kerns eingelagert zu sein.

Bei Vorhandensein mehrerer Nucleolen wurde bei pflanzlichen Objecten bisher noch kein Anlass gefunden, zwischen Haupt- und Nebennucleolen zu unterscheiden. Flemming will dagegen bei multinucleolären Kernen einen einzigen, in der Regel durch besondere Grösse ausgezeichneten als Hauptnucleolus bezeichnen. Vielleicht dürfte es sich aber empfehlen, diese Unterscheidung nur dann zu treffen, wenn dieser Nucleolus sich auch durch besonderen Bau, wie in dem von Flemming näher beschriebenen Beispiel von Unio, auszeichnet.

Die Grundsubstanz des Kernes selber ist nach Flemming und Strasburger als homogen zu betrachten, während sie nach Zacharias und Carnoy[1]) ein Plastinnetz enthält, dass der erstere auch noch für die Nucleolen annimmt. Sie ist, wie beide hervorheben, jedenfalls keine tropfbare Flüssigkeit, sondern wie Flemming meint, von mehr weich gelatinöser, nach Zacharias von gummiartiger Beschaffenheit. Von dem letzteren kann man sich in der That auf einfache Weise überzeugen.

Zerdrückt man Antheren von Monocotylen, z. B. Tradescantia, Hemerocallis, in denen die Mutterzellen noch in Theilung begriffen sind, auf dem Objectträger ohne Wasserzusatz und zerrt die schleimige Plasmamasse, welcher die Mutterzellen eingelagert waren, mit der Nadel auf dem Objectträger etwas hin und her, so kleben viele von den in ihr enthaltenen freien Kernen am Glase fest und können sich oft in Fäden von ausserordentlicher Zartheit und Länge ausziehen. Dieselben besitzen eine sehr zähe Consistenz, denn sie zerreissen auch bei lebhafter Bewegung der Flüssigkeit, der sie eingelagert sind, nicht. Dabei behalten die nicht verletzten Kerne mindestens eine halbe Stunde lang ihr Aussehen wie im Leben.

Um falsche Vorstellungen soviel als möglich zu vermeiden, dürfte es aus diesem Grunde empfehlenswerth sein, das vielfach benutzte Wort Kernsaft zu vermeiden und lieber den Namen Kerngrundmasse zu gebrauchen.

Was die Nucleolen anbetrifft, so dürften auch sie die Consistenz einer zähen, fadenziehenden Masse besitzen. Das beweist wenigstens eine Beobachtung, die ich gelegentlich beim Austreten eines unbekannten amöboiden Schwärmers aus seiner Cyste machen konnte. Während der Plasmakörper sammt dem Kern sich durch die feine Austrittsöffnung der Cyste zwängten, zog sich auch der Nucleolus an seinem Vorderende zu einem langen, dünnen Faden aus. Als dieser die Austrittsöffnung

1) Siehe Ref. über Carnoy's Biologie cellulaire in Botan. Zeitung 1885, S. 106.

passirt hatte, schwoll er vorn mehr und mehr kolbenförmig an, sodass der Nucleolus bald eine Zeit lang Hantelform zeigte, bis die zurückgebliebene Masse allmählich ganz hinüberfloss.

Dass die drei morphologisch unterscheidbaren Bestandtheile des Kernes auch chemisch voneinander verschieden sind, kann nach den vorliegenden Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen. Die Verschiedenheit zwischen der Gerüstsubstanz und den Nucleolen, welche z. B. von Schmitz[1]) noch geleugnet wurde, folgt schlagend allein schon aus den Angaben von Flemming, wonach Wasser das Gerüst verblassen, die Nucleolen aber deutlicher werden lässt. Weitere Beweise ergeben sich aus den ebenfalls von Flemming angeführten Resultaten verschiedener Tinctionsversuche, auf die hier einfach verwiesen werden kann.

Etwas eingehendere Anhaltspunkte über die chemische Natur und die Vertheilung der einzelnen Substanzen in den Zellkernen liefern mikrochemische Untersuchungen über die künstliche Verdauung der Kernsubstanzen mit Pepsin-Glycerin, sowie die Behandlung mit Soda- und Chlornatriumlösungen, welche nach dem Vorgange der physiologischen Chemiker zuerst von Zacharias[2]) für das mikroskopische Studium der Zellkerne verwerthet wurden. Die von mir an den Kernen der jungen Parenchymzellen aus der Blattbasis von Hyacinthus orientalis erhaltenen Resultate stimmen im wesentlichen mit den von Zacharias erhaltenen überein.

Es besteht hiernach das Fadengerüst, resp. der Faden des Kernes, jedenfalls seiner überwiegenden Masse nach, aus Nuclein, die Grundmasse des Kernes aber vorwiegend aus verdaulichen Eiweisskörpern. Einen unverdaulichen Rest der letzteren hat Zacharias vorläufig mit dem von Reinke[3]) in Aethalium gefundenen Plastin identificirt, was der Kürze wegen, ohne dass damit etwas präjudicirt werden soll, auch hier geschehen mag.

Die Nucleoli enthalten nach Zacharias[4]) bei Galanthus nivalis der Hauptsache nach verdauliche Eiweisssubstanz, dann einen unverdaulichen Plastinrückstand, aber kein Nuclein. Bei Hyacinthus fand ich einen relativ sehr bedeutenden unverdaulichen Rückstand.

In den Kernen der alternden Zellen von Chara zerfällt der Nucleolus nach Johow[5]) und Zacharias. Nach dem letzteren treten dabei amöboide Formänderungen auf, zuletzt bilden sich mehrere unregelmässige Stücke. In den Kernen der alten Raphidenzellen von Tradescantia geht nach Johow[6]) der Nucleolus zuletzt in Lösung, in den

1) Sitzgsber. der niederrh. Ges. f. Natur- und Heilkunde zu Bonn. 13. Juli 1880.
2) Botan. Zeitung 1882.
3) Studien über das Protoplasma. Berlin 1881.
4) Botan. Zeitung 1885.
5) Ebenda 1881. 6) Bonner Dissertation 1880.

älteren Blättern von Galanthus nimmt er nach Zacharias an Masse ab, um in der Nähe der gelbgefärbten Spitzen schliesslich ganz zu verschwinden. Ein solches Verhalten dürfte aber, wie Zacharias hervorhebt, in alternden Zellen wohl nicht allgemein sein, da andere Beobachter (Schorler[1]), Kallen[2])) eine Veränderung der Nucleolen unter diesen Umständen nicht beobachteten.

Der Zellkern ist in vielen Fällen von einer membranartigen Hülle umgeben, welche eigenartige Reactionen zeigt und wohl mit Recht für ein Product des umgebenden Plasma gehalten wird. Sie färbt sich nicht mit den gebräuchlichen Kerntinctionsmitteln und wird bei Einwirkung von Wasser auf Zellkerne sehr deutlich. Bei Hyacinthus erwies sie sich mir nach 48stündiger Einwirkung von künstlichem Magensaft als jedenfalls zum grössten Theil unverdaulich. Indessen wurde dadurch aber ihre Zusammensetzung jedenfalls in etwas modificirt, denn sie quoll vor der Verdauung in Sodalösung wenig auf, nachher sehr stark, wurde aber in den Präparaten nach 48 Stunden wieder deutlicher.

Nach Zacharias wurde die Kernmembran in den Zellen von Phajusknollen sehr deutlich bei der Behandlung mit conc. Salzsäure und auf Einwirkung von 10% Kochsalzlösung.

Nach Strasburger[3]) soll sie bei Fritillaria porös sein, ich konnte mich an dem betreffenden Object indessen von dem Vorhandensein von Löchern nicht sicher überzeugen.

Dass eine Kernmembran immer vorhanden, ist nicht wahrscheinlich. In den Epidermiszellen von Tradescantia zebrina suchte ich sie vergebens, ebenso auch an den grossen Kernen des jungen Blattparenchyms von Aloë spinulosa.

Ueber den feineren Bau der Farbkörper sind in den letzten Jahren von botanischer Seite sehr eingehende Untersuchungen angestellt worden. Hauptsächlich von Schmitz[4]), A. Meyer[5]) und zuletzt von Schimper[6]) in einer ausführlichen zusammenfassenden Darstellung. Aus diesem Grunde kann ich mich, unter Verweisung auf die betreffenden Arbeiten auch hier wieder kurz fassen, brauche nur das Wesentlichste hervorzuheben, mit Anführung dessen, worin meine Resultate mit den Angaben der beiden zuletztgenannten Beobachter nicht übereinstimmen, was allerdings nur in untergeordneten Punkten der Fall ist.

1) Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 16. 1883.
2) Flora 1882.
3) Controversen. S. 5.
4) Chromatophoren der Algen. Bonn 1882.
5) Chlorophyllkorn. Leipzig 1883.
6) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 16.

Hinsichtlich der Nomenclatur wollen wir uns dabei den Vorschlägen Strasburger's[1]) resp. Schimper's[2]) anschliessen. Wir nennen also die betreffenden Organe des Plasmakörpers insgesammt Farbkörper oder Chromatophoren und unterscheiden Chlorophyllkörper oder Chloroplasten, Stärkebildner oder Leucoplasten und nennen schliesslich Chromoplasten die Farbkörper der Blüthen, Früchte u. s. w.

In Uebereinstimmung mit A. Meyer und Schimper finde ich in den Chlorophyllkörpern der höheren Pflanzen der Grundsubstanz eine grössere Menge kugliger, tröpfchenähnlicher Gebilde eingelagert, die nach dem Vorgange von A. Meyer auch hier als „Grana" bezeichnet werden mögen, obwohl dieser Name als wenig glücklich gewählt erscheinen muss, da die betreffenden Einlagerungen jedenfalls nicht fest, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach von zähflüssiger Consistenz sein dürften.

Die Chlorophyllkörper von Anthoceros dagegen und die sämmtlicher Algen sollen nach Schimper Grana nicht zeigen. Hinsichtlich der Florideen und Phaeosporeen muss ich auf Grund meiner Untersuchungen Schimper durchaus zustimmen. Auch ich habe nie den Grana entsprechende Differenzirungen in ihnen auffinden können. Auch die meisten grünen Algen, welche daraufhin untersucht wurden, zeigten mir nichts anderes, so z. B. auch Bryopsis sowohl im Leben, wie nach sorgfältiger Conservation mit Jod oder Picrinsäure.

Bei einigen anderen Formen glaube ich indessen doch am lebenden Material mit guten starken Oelimmersionen eine feine Körnelung in der Substanz der Chloroplasten erkannt zu haben, so bei Draparnaldia glomerata, Closterium Lunula und einer nicht näher bestimmten Mesocarpee, ohne dass ich jedoch daraufhin das Vorkommen von Grana bei ihnen bestimmt behaupten möchte.

Die Chlorophyllkörper bestehen ihrer Hauptmasse nach aus coagulirbaren Substanzen, die nach Zacharias[3]) zum grössten Theil in künstlichem Magensaft löslich sind. Ein geringer unlöslicher Rest wird auch hier von ihm als „Plastin" bezeichnet.

Ob auch die „Grana" coagulirbare Substanzen enthalten, ist noch nicht sicher entschieden. A. Meyer scheint zu dieser Annahme zu neigen, sie wandeln sich nach demselben aber bei Behandlung mit Reagentien leicht in blasige Hohlkugeln um, sodass es den Anschein erweckt, als wären sie gelöst worden. Für diese Auffassung sprechen auch die Resultate meiner eigenen Untersuchungen am meisten, während Schimper die Grana für flüssige Tropfen hält, welche eine Chlorophylllösung, aber keine coagulirbare Grundmasse enthalten.

1) Botanisches Prakticum 1884.

2) A. a. O. S. 30 des Sep.-Abdr., Anm. 2.

3) Botan. Zeitung 1883. S. 209.

Die Grundmasse der Chlorophyllkörper soll dagegen nach Schimper keinen Farbstoff enthalten und auch A. Meyer hält das für wahrscheinlich. Beide Beobachter drücken sich dabei allerdings mit grosser Reserve aus, und es ist auch mir nicht möglich gewesen, darüber volle Gewissheit zu erhalten. Auf die Gründe, welche Schimper aus der Farblosigkeit der Grundsubstanz vieler Chromoplasten dafür zu entnehmen sucht, dürfte nicht so viel Werth zu legen sein, da in diesen stark metamorphosirte Farbkörper vorliegen. Eher spricht es für diese Annahme, dass bei der später näher zu besprechenden Theilung der Chlorophyllkörper von Hartwegia comosa in der Mitte eine vollkommen farblose Zone auftritt. Diese würde sich bei Farblosigkeit der Grundmasse durch das Auswandern sämmtlicher grüngefärbten Grana leicht erklären lassen, während man im anderen Falle gezwungen ist, sie als nicht zur Substanz des Farbkörpers gehörig zu betrachten.

Die Stärkebildner scheinen eine Differenzirung in Grundmasse und Grana nicht zu besitzen, sie bestehen nach Zacharias[1]) vorwiegend aus verdaulichen Eiweisskörpern.

Bei vielen grünen Algen, manchen Diatomeen, den Bangiaceen und Nemalieen unter den Florideen, ferner bei Anthoceros enthalten die Chlorophyllkörper je nach den Einzelfällen in Ein- oder Mehrzahl rundliche, tropfenähnliche Gebilde, welche bei den grünen Algen seit langer Zeit als „Amylonkerne“ bezeichnet werden, für welche insgesammt aber Schmitz den Namen „Pyrenoide“ vorgeschlagen hat. Dieselben sind farblos und sollen nach A. Meyer[2]), dem sich jetzt auch Schimper angeschlossen hat, Proteinkrystalle mit eckigen Umrissen sein. Mir hatten die Pyrenoide früher den Eindruck homogener, stark lichtbrechender abgerundeter Tropfen gemacht, und auch neuerdings habe ich bei Bryopsis, den Bangiaceen, bei Spirogyra solche Ecken nicht zu erkennen vermocht. Da indessen diese Frage für mich hier zu wenig Bedeutung hatte, so habe ich es für unnöthig gehalten, ihr nachträglich wieder ein eingehenderes Studium zu widmen.

Die Pyrenoide sind coagulirbar, zeigen aber in ihrem Verhalten nach den Einzelfällen mancherlei Verschiedenheiten, worauf von Schmitz und Schimper eingehender hingewiesen worden ist. Ihre Substanz soll nach Schmitz dem Chromatin der Zellkerne nahe stehen, für welche Annahme ich keine Anhaltspunkte gefunden habe und deren Zulässigkeit auch von A. Meyer und Schimper nach den Ergebnissen der von ihnen angestellten mikrochemischen Reactionen auf das bestimmteste bestritten wird.

Zacharias[3]) lässt eine gewisse Beziehung zwischen den Nucleolen

1) Botan. Zeitung 1883.
2) Ebenda Nr. 30. 3) Ebenda 1885.

und den Pyrenoiden gelten, in sofern als beide wesentlich aus eiweissartigen, verdaulichen Substanzen bestehen.

Ob die Pyrenoide aber den Proteinkrystallen, wie sie sich in den Farbkörpern mancher höheren Pflanzen (Canna, Phajus) finden, an die Seite zu stellen sind, wie A. Meyer will, was aber von Schimper bestritten wird, können wir hier dahingestellt sein lassen. Schmitz und Schimper haben ferner aus gewissen anatomischen Befunden den Schluss gezogen, dass die Pyrenoide mancher Formen bei der Bildung der Stärke bethätigt seien, ob mit Recht, können wir aber erst in einem späteren Kapitel näher erörtern.

Eine besonders differenzirte Membran fehlt den Chlorophyllkörpern nach den übereinstimmenden Ergebnissen aller sorgfältigen neueren Untersuchungen.

Das allgemeinste Product der Farbkörper aller chlorophyllgrünen Pflanzen, die Stärke, können wir bei unserer Besprechung hier ganz übergehen. Als Massen von unzweifelhaft festem Aggregatzustande habe ich sie ebenso wie die Krystalloide und die Zellmembranen bei meinen Untersuchungen ganz unberücksichtigt gelassen.

Neben den bisher schon besprochenen Einlagerungen kommen aber in den Chlorophyllkörpern fast allgemein verbreitet, wie Schimper neuerdings in Erweiterung der älteren Untersuchungen von Nägeli, Briosi, Holle, Godlewski, A. Meyer und Pringsheim[1]) gezeigt hat, Tropfen von ölähnlichem Aussehen vor, die aber ihren Reactionen nach weder den ätherischen noch den fetten Oelen ohne weiteres zugezählt werden können. Der Einfachheit wegen mögen sie indessen auch hier zunächst als Oel bezeichnet werden. Diese Tropfen können, da sie mit Ausnahme der Iris-Arten, wie Schimper nachwies, erst in alternden Farbkörpern auftreten und allgemein beim Absterben in den Zellen zurückbleiben als Degradationsproducte des Stoffwechsels aufgefasst werden. Ein näheres Eingehen auf sie wird hier um so weniger nöthig sein, als sie in den Arbeiten von A. Meyer und Schimper eingehende Berücksichtigung gefunden haben. Ich selber konnte bei der Untersuchung von Strelitzia Reginae, Dracaena umbraculifera, Bromelia Ananas, Pitcairnea sulphurea, Agave Salmiana, Rhipsalis rhombea, im wesentlichen die Angaben von A. Meyer bestätigen, bis auf einige unwesentliche Differenzen hinsichtlich einiger mikrochemischer Reactionen, auf welche hier näher einzugehen von zu geringem Interesse sein würde.

Die nach Abzug der bisher besprochenen Einlagerungen zurückbleibende Grundmasse der Farbkörper dürfen wir nun im wesentlichen wohl als homogen auffassen, mit gewissen Einschränkungen allerdings,

---

1) Siehe Schimper a. a. O. S. 173 ff.

welche aber erst in einem der folgenden Kapitel näher begründet werden können.

Wenn Rosanoff[1]) aus den Desorganisationserscheinungen, welche die ausgetretenen Chlorophyllkörper von Bryopsis in Meerwasser zeigen, einen Schluss auf weitere feinere Structurverhältnisse machen zu sollen glaubte, so kann ich dem nicht beistimmen. Schon Schmitz[2]) hat hervorgehoben, dass aus diesen Desorganisationserscheinungen nicht auf die Structurverhältnisse der intacten Farbkörper geschlossen werden dürfe, während Klebs[3]) und Schimper[4]), allerdings nicht ohne Reserve, ihnen ebenfalls eine grössere Bedeutung zuerkennen. Ich selbst habe diese streifenförmigen Differenzirungen an den in Wasser liegenden Chlorophyllkörpern in den Jahren 1879 bis 1881 ebenfalls öfter näher studirt und die Untersuchung im Frühjahr 1884 wiederholt. Ich habe die betreffenden Streifungen nie so regelmässig gefunden, als sie bei Hofmeister und neuerdings wieder von Schimper abgebildet sind und kann in ihnen nichts anderes sehen, als den Ausdruck von Entmischungsvorgängen, die durch das eindringende Wasser im Chlorophyllkörper hervorgerufen werden. Der annähernd radiale Verlauf der Streifung muss durch das von aussen nach innen vordringende Wasser hinlänglich begründet erscheinen. Auch die weitere Beobachtung von Klebs, wonach an den Farbkörpern von Euglena durch mechanischen Druck, ausgeübt auf den unverletzten Organismus ganz ähnliche Differenzirungen auftreten, lässt sich mit dieser einfacheren Auffassung, soweit ich sehe, wohl vereinbaren. In diesem Falle kann aber die beginnende Desorganisation wieder zurückgängig gemacht werden, sobald der Druck rechtzeitig genug wieder aufgehoben wird.

Was schliesslich die Chromoplasten und ihre Bau- und Gliederungsverhältnisse anbetrifft, so habe ich diese selber nicht näher studirt. Die betreffenden Verhältnisse haben in neuester Zeit durch A. Meyer[5]) und Schimper[6]) eine sorgfältige Bearbeitung erfahren, auf welche hier um so eher kurz verwiesen werden kann, als die nachgewiesenen Thatsachen für die uns interessirenden Fragen eine principielle Bedeutung nicht besitzen.

Chlorophyllkörper und Zellkerne sind die am allgemeinsten verbreiteten Differenzirungsproducte des Plasmakörpers, denen wir auch eine hervorragende functionelle Bedeutung für das Leben desselben zu-

---

1) Siehe Hofmeister, Pflanzenzelle. S. 369.
2) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 15.
3) Untersuchungen aus d. bot. Inst. zu Tübingen I, 2. Leipzig 1883.
4) A. a. O. S. 157.
5) Botan. Zeitung 1883. 6) Ebenda und a. a. O. S. 87 ff.

zuschreiben haben. Manche andere der neben ihnen vorkommenden morphologischen Bestandtheile des Plasma sind zum Theil mehr accessorischer Natur und dazu oft auch ihrem feineren Bau nach, hinlänglich klar, sodass wir sie hier ganz nebenbei abmachen können. So brauchen wir die so vielfach im Protoplasma vorkommenden Tropfen ätherischer Oele und harziger Substanzen hier nur der Vollständigkeit wegen zu erwähnen, da über ihren feineren inneren Bau nähere Auseinandersetzungen nicht nöthig sind. Es sind flüssige Tropfen, Mischungen mehr oder weniger complicirter Zusammensetzung wohl in der Regel, über die im Einzelnen näheres nicht bekannt ist. Dass sie sich in den gewöhnlichen Lösungsmitteln leicht und vollständig auflösen, ist in Einzelfällen unschwer zu constatiren, so z. B. auch für die Tröpfchen, die in verschiedenen Milchsäften vorkommen.

Andere im plasmatischen Wandbeleg vorkommende Differenzirungsproducte sind vielfach wässerige Lösungen irgend welcher Art; ein Theil von ihnen, die Vacuolen dürften ihrer Zusammensetzung nach wohl mehr oder weniger mit dem eigentlichen Zellsaft übereinstimmen, der ja auch nichts als eine grosse Vacuole im Plasmakörper ist.

Bevor wir die Frage über die feinere Gliederung des Plasmakörpers weiter verfolgen, möge nun hier zunächst eine kurze Besprechung des Zellsaftes und der Vacuolen Platz finden.

Der Zellsaft ist jedenfalls immer eine höchst complicirte Lösung der verschiedenen in Wasser und wässrigen Flüssigkeiten leichter löslichen Substanzen des Plasmakörpers. Neben den Kohlenhydraten, wie Zucker, Dextrin, Inulin, leichter löslichen Schleimen, sind es die organischen Säuren und ihre Salze, sowie die salpetersauren Salze, die hier jedenfalls ihrer Hauptmenge nach angehäuft sind. Dazu kommen dann wohl meist lösliche Eiweisssubstanzen in wechselnder Menge, oft Gerbstoffe, Farbstoffe und ohne Zweifel viele andere seltenere und weniger allgemein verbreitete Stoffe mehr. Dass ätherische Oele nicht im Zellsaft vorkommen, wenigstens nicht in Tropfenform, scheint mir sicher, wie schon im ersten Kapitel näher dargelegt wurde, wo auch zu zeigen versucht wurde, dass auch der Milchsaft keineswegs einem metamorphosirten Zellsaft zu vergleichen sei, wie das einige Forscher neuerdings gewollt hatten.

Ausscheidungen mannigfaltiger Art, flüssiger wie fester Natur, sind aber im Zellsaft unter verschiedenen Umständen häufig. Flüssige Ausscheidungen finden sich öfter in gerbstoffführenden Zellsäften, indem sich solche unter gewissen Umständen entmischen und in eine gerbstofffreie Grundmasse und ihr eingelagerte gerbstoffhaltige Tropfen zerfallen. So z. B. in den Zellen der gereizten Tentakel von Droserablättern. Schon Schimper[1]) hat nachgewiesen, dass die hierbei sich isolirenden Massen

1) Botan. Zeitung 1882.

eine concentrirte Gerbstofflösung enthalten und de Vries[1]) hat das neuerdings in einer ausführlicheren Darstellung ebenfalls bestätigt und nachgewiesen, dass sie ausserdem noch Eiweisssubstanzen einschliessen. Schimper zeigte auch schon, dass dieselben Aggregationen bei Sarracenia vorkommen.

De Vries hat in seiner Publication eine sehr complicirte Vorstellung über die Mechanik dieser Vorgänge entwickelt, auf welche wir in einem späteren Kapitel werden zurückzukommen haben. Ich kann in ihnen auf Grund meiner eigenen Beobachtungen an Drosera nur den Zerfall einer labil gewordenen Lösung sehen, der nach Aufhören des Reizes wieder rückgängig gemacht werden kann.

Die allen Gerbstoff in sich aufspeichernden Tropfen sind also bei diesen Objecten aus dem allgemeinen Zellsaft ausgeschieden, von ihm allseitig umschlossen, mit dem Protoplasma ursprünglich nicht in directer Berührung.

Zu unterscheiden sind hiervon darum diejenigen, ebenfalls wie es scheint nicht seltenen Fälle, wo ursprünglich einzelne Vacuolen im Protoplasmakörper allein Gerbstoff führen, der eigentliche Saftraum, oder auch andere durch Grösse weiter nicht hervortretende Vacuolen aber nicht. So fand ich es z. B. in den Drüsenzellen am Blattstiel von Pelargonium zonale. So finden sich auch bei Zygnema cruciatum und bei Mesocarpeen zahlreiche kleine Tröpfchen einer Gerbstofflösung in den inneren Schichten des Plasmaschlauchs, die dem Saftraum unmittelbar angrenzen. Auch die Phaeosporeen führen ebenfalls zahlreiche Tröpfchen einer Gerbstofflösung im Plasmakörper neben einem gerbstofffreien grossen Saftraum. Diese Tröpfchen ordnen sich vorzüglich in nächster Nähe des Zellkerns an. Ihres starken Lichtbrechungsvermögens halber waren sie von früheren Beobachtern irrthümlicher Weise für Oeltropfen gehalten worden, wie ich vor einigen Jahren nachgewiesen habe.[2]) Mir war aber damals ihre wahre chemische Natur ebenfalls entgangen, da mir die Vermuthung, dass in ihnen eine Gerbstofflösung vorliegen könne, nicht gekommen war. Die Natur dieser Tropfen war mir darum ihren Reactionen nach etwas räthselhaft geblieben, aber ich hatte damals geglaubt, nach der Einwirkung von Reagentien an ihrer Stelle zurückbleibende gequollene Massen protoplasmatischer Natur zum grössten Theil aus den vacuolisirten und zusammengeflossenen einzelnen Tröpfchen ableiten zu dürfen, was nach wiederholter Untersuchung der lebenden Formen, die ich im Frühjahr 1884 vornehmen konnte, nicht zulässig ist. Nach den Ergebnissen dieser neueren Untersuchungen bestehen die Tropfen vielmehr aus einer keine coagulirbaren Substanzen

1) Botan. Zeitung 1886.

2) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 13. 1882. S. 700 ff.

enthaltenden Gerbstofflösung. Beim Absterben der Zellen bilden sie sich zu braunen Klumpen um, beim Behandeln der Zellen mit doppeltchromsaurem Kali werden sie aber gut wie die Gerbstofflösungen in höheren Pflanzen in Form brauner Tröpfchen fixirt. Diese Gerbstofflösungen scheinen ganz allgemein bei den braunen Algen vorzukommen, in besonders grosser Menge in den zwischen den Sporangien stehenden Paraphysen von Asperococcus, in den äussersten, gedunsenen Zellen der peripherischen Thallusfäden der Mesogloeaceen u. s. w.

Beiläufig möge an dieser Stelle auch hervorgehoben werden, dass Stärke bei den Melanophyceen nicht vorkommt. Das was Schmitz[1]) neuerdings wieder als solche gedeutet hat, ist kein Amylum. Diese, von Schmitz beschriebenen tröpfchenartigen Massen, welche den Farbkörpern seitlich anliegen, waren mir nicht unbekannt und von mir schon im Herbst 1880 näher untersucht worden. Wenn ich auf sie in meiner oben erwähnten Publication, wie Schmitz mir neuerdings vorwirft, nicht aufmerksam gemacht hatte, so war der Grund der, dass ich an jener Stelle gar nicht beabsichtigte, den Bau des Plasmakörpers der braunen Algen näher zu beschreiben, sondern nur auf einige Inhaltsbestandtheile ihrer Zellen aufmerksam zu machen, welche mir ihrer Lage und ihres starken Lichtbrechungsvermögens halber eine biologische Bedeutung als Lichtschirme zu haben schienen.

Die betreffenden glänzend weissen Gebilde sitzen nun einzeln oder zu mehreren (z. B. bei den gestreckten Farbkörpern von Ectocarpus siliculosus) den Farbkörpern mit einem kurzen Spitzchen seitlich an. Ich konnte sie im Jahre 1880 bei Asperococcus bullosus, Giraudia, Castagnea, Leathesia umbellata, Elachistea stellaris, Nereia Montagnei, Arthrocladia, Ectocarpus siliculosus, abbreviatus und pusillus nachweisen, vermisste sie dagegen bei Sporochnus, Chaetopteris, Halopteris, Sphacelaria tribuloides, Cutleria und den Dictyotaceen.

Sie bestehen aus eiweissartigen Substanzen, nicht aus Stärke, lösen sich beim Abtödten der Algen mit destillirtem Wasser leicht und sofort auf, sind durch Jod, Alkohol, Osmiumsäure coagulirbar, lösen sich nachträglich aber noch leicht in schwacher Ammoniaklösung. Nach einhalbstündigem Kochen, durch welches sie äusserlich nicht verändert worden waren, lösten sie sich dagegen in Ammoniak nicht mehr.

Die vorstehenden Reactionen wurden hauptsächlich an den oberflächlichen Zellen des Thallus von Asperococcus bullosus angestellt.

Bei keiner der vielen daraufhin untersuchten braunen Algen habe ich andere Producte im Zellinhalt gefunden, welche etwa der Stärke der höheren Pflanzen oder der der Florideen vergleichbar wären.

Im Zellsaft vorhandene Eiweisskörper krystallisiren oft aus, so sehr schön bei manchen grünen Meeresalgen, wenn die Zeit der Fructification herannaht. So finden sich beispielsweise zahlreiche schön entwickelte octaedrische Krystalloide im Zellsaft der grossen peripherischen Blasen der Codien und ebenso bei den Derbesien, besonders D. Lamourouxii. Man vergleiche in Bezug hierauf auch Kleins[2]) Angaben, aus

1) Chromatophoren der Algen und Pringsh. Jahrbücher. Bd. 15. 1884. S. 59, Anm. 1. 2) Pringsh. Jahrb. Bd. 13. 1882. S. 23 ff.

denen indessen nicht zu entnehmen ist, ob die gefundenen Krystalloide im Zellsaft oder im Plasmakörper der betreffenden Objecte sich finden.

Wahrscheinlich ist es mir, dass auch die im Endosperm der Samen höherer Pflanzen, in den Aleuronkörnern vorkommenden Eiweisskrystalle, ebenso wie die Aleuronkörner selber als Ausscheidungsproducte aus dem Zellsaft aufzufassen sind.

Pfeffers[1]) Untersuchungen geben in dieser Hinsicht leider keinen Aufschluss, es dürfte überhaupt nicht leicht sein, durch directe Untersuchung die hier aufgestellte Vermuthung als zutreffend nachzuweisen.

Es spricht aber Manches für diese Auffassung. Einmal die Thatsache, dass die betreffenden Ausscheidungen durch Wasserzutritt so leicht verändert und gelöst werden, woraus zu schliessen ist, dass sie sich auch im unreifen Samen in der wässrigen Lösung des Zellsaftes vorfinden werden, so lange ein solcher noch vorhanden ist. Weiterhin, dass sie vollständig fettfrei sind, wie Pfeffer nachgewiesen hat. Es finden sich ferner im Hochsommer in dem grossen Saftraum der Blasen von Codium elongatum neben den zahlreichen und schönen octaedrischen Eiweisskrystallen kleine traubenförmige Concretionen, die ihrem Aussehen nach lebhaft an die Globoide der Aleuronkörner erinnern. Leider habe ich früher versäumt, sie einer eingehenderen mikrochemischen Untersuchung zu unterwerfen. Wie Pfeffer ferner gezeigt hat, treten an Stelle der Globoide bei manchen Pflanzen, z. B. Aethusa cynapium und Silybum marianum oft kleine Oxalatdrusen auf, wie man sie in anderen Fällen im Zellsaft nicht selten findet, nicht aber frei im Protoplasma. So fand ich solche kleine Drusen in Saftvacuolen eingelagert in einzelnen Zellen der Drüsenhaare von Nicotiana longiflora, kleine Einzelkrystalle von oxalsaurem Kalk finden sich nach Woronins[2]) Angaben, die ich bestätigen kann, im Zellsaft von Vaucheria. Ganz gewöhnlich sind kleine Raphiden von Kalkoxalat, ferner auch im Zellsaft der Haarzellen von Acanthaceen, oft in grosser Menge, so z. B. bei Ruellia formosa. Auch Ad. Weiss[3]) hat neuerdings auf dieses Vorkommen hingewiesen.

Nebenbei mag hier sogleich erwähnt werden, dass bekanntlich bei den Desmidieen auch Gypskryställchen im Zellsaft vorkommen, z. B. in der Endvacuole der Closterien. Auch bei Spirogyra nitida und anderen Arten dieser Gattung sind solche Kryställchen im Zellsaft nicht selten, sie kommen hier aber auch im plasmatischen Wandbeleg vor.

Dem Zellsaft angehörige Ausscheidungen eiweissartiger Natur sind auch jene körnigen Massen, die ich[4]) in den oberflächlich gelegenen

1) Pringsh. Jahrb. Bd. 8.
2) Botan. Zeitung 1880. S. 427.
3) Sitzgsber. d. Wien. Akad. d. Wiss. Bd. 90. Juli 1884. S. 79 ff.
4) Pringsh. Jahrb. Bd. 13. 1882.

Thalluszellen von Chondriopsis und für Cystosira-Arten beschrieben habe und die hier die Function von Lichtreflectoren besitzen. Ferner sei hier auch noch kurz hingewiesen auf die bekannten Wimperkörperchen der Characeen, welche Schmitz[1]) neuerdings durchaus mit Unrecht für parasitärer Natur erklärt hat. Auch im Zellsaft der Wurzelhaare von Trianea bogotensis kommen in ziemlicher Menge eigenthümliche körnige und andere mehr gestreckte zu Gruppen verbundene Ausfällungen unbekannter Natur vor.

Was nach Abzug der bisher behandelten Einschlüsse des Plasmakörpers und vereinzelter anderer von seltenerem Vorkommen, wie z. B. der im ersten Kapitel für Equisetum-Sporen beschriebenen tropfenähnlichen Gebilde in den äusseren Plasmaschichten und ähnlicher, auf die hier näher einzugehen zu weit führen würde, noch übrig bleibt, die Grundmasse des Plasmakörpers, Strasburgers Cytoplasma, sollte nach den früheren Auffassungen eine homogene hyaline Masse sein, der nur in bestimmten Regionen weitere Tröpfchen und Körnchen von sehr geringer Grösse eingelagert seien. Für die letzteren hat Hanstein[2]) den Namen „Mikrosomen" vorgeschlagen.

Im Laufe der letzten Jahre haben aber zuerst Frommann und Heitzmann von zoologischer, dann später hauptsächlich Strasburger und Schmitz[3]) von botanischer Seite die Ansicht vertreten, dass diese Grundmasse einen netzförmigen (gerüstförmigen) Bau besitze. Gegen diese Auffassung ist aber jüngst Flemming mit aller Entschiedenheit aufgetreten. Derselbe untersuchte verschiedene Objecte, theils lebend, theils nach sorgfältiger Conservation mit verschiedenen Reagentien, wobei alle Vorsichtsmassregeln beobachtet wurden, welche die wissenschaftliche Kritik gerade bei diesen Fragen unbedingt verlangen muss. Flemming konnte auf diese Weise nur das Vorkommen von fädigen Differenzirungen in der Grundmasse des Plasmakörpers, von nach den Einzelfällen verschiedener Gestalt und Ausbildung constatiren.

Einen netzförmigen Zusammenhang dieser Fäden hält er nur bei manchen Objecten für möglich, aber nie mit Sicherheit nachgewiesen.

Nach den von mir erhaltenen Resultaten kann ich mich der Auffassung Flemmings nur anschliessen.

Schon vor einigen Jahren habe ich[4]) Bildungen in der farblosen Grundmasse des Protoplasma von Bryopsis beschrieben, welche den

1) Sitzgsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde. 13. Juli 1880. S. 33 d. Sep.-Abdr.

2) Botan. Abhandlungen. Bd. IV. Heft 2. S. 4.

3) Vergl. Flemming a. a. O. S. 10 ff.

4) Pringsh. Jahrb. Bd. 13. 1882. S. 702 ff.

von Flemming gefundenen Differenzirungen durchaus zu vergleichen sind.

Im plasmatischen Wandbeleg ausserhalb der von den Chlorophyllkörpern eingenommenen Schicht liegen massenhaft glänzende, homogene Fädchen von verschiedener Länge und mit torulösen Auftreibungen versehen. Zuweilen erscheinen sie in der Flächenansicht auch als runde Tröpfchen. In radialer Richtung sind sie stark abgeplattet. Sie wechseln langsam ihre Lage, zerfallen gelegentlich und verschmelzen auch wohl miteinander. Bei Eingriffen erweisen sie sich als sehr unbeständig, sie verquellen sofort, es treten Vacuolen in ihnen auf, die sich vergrössernd der gesammten Grundmasse des Plasma eine anscheinend netzförmige Structur verleihen. Ziemlich gut kann man sie aber mit Osmiumsäure, Jod in Meerwasser, Sublimat conserviren.

Wiederholte Untersuchung des lebenden Objectes im Frühjahr 1884 gab mir volle Bestätigung der früheren Befunde.

Saprolegnien sollen nach Schmitz[1]) sehr schön die netzförmige Structur des Plasmakörpers zeigen. Ich finde auch hier nur stark lichtbrechende Kügelchen in grosser Menge und gestreckte etwas torulöse Fädchen, die wie bei Bryopsis besonders schön und deutlich an den Stellen zu erkennen sind, wo der plasmatische Wandbeleg nur geringe Dicke besitzt. Auch hier quellen sie bei Knickungen und Verletzungen der Fäden auf, sind mit Jodlösung coagulirbar und färben sich mit derselben braun unter geringer Schrumpfung. Ebenso zeigten mir Vaucheria geminata und andere Vaucherien im Plasma ganz entsprechende torulöse Fädchen. Auch hier zeigen sie zitternde Bewegungen, verbiegen sich und glitschen langsam hin und her wie in geringerem Masse auch die umliegenden Chlorophyllkörper und Zellkerne. Oft zerfallen sie oder verschmelzen stellenweise miteinander, nehmen auch für einige Zeit Tropfenform an, um sich bald darauf wieder auszuziehen.

Auch in den älteren Gliederzellen von Callithamnion corymbosum und von Ceramium-Arten fand ich neben einfachen Kügelchen solche fädige Bildungen in der plasmatischen Grundmasse vor.

Wie die in Fig. 8 auf Taf. I für Vaucheria geminata gegebene Abbildung zeigt, erinnern alle diese Bildungen ihrer Gestalt nach durchaus an die entsprechenden Fäden, welche Flemming bei Chironomus fand und auf Taf. I, 14 abgebildet hat.

Ferner fand ich noch in den Plasmakörpern mancher Haarzellen fadenförmige Differenzirungen, bei denen indessen nur zum Theil scharfe Contouren nachweisbar waren. So stellenweise gut erkennbar bei Urtica, Goldfussia glomerata, Thladiantha dubia. Ihre Längsrichtung

---

1) Sitzgsber. der niederrh. Ges. f. Nat.- u. Heilkunde zu Bonn. 13. Juli 1880. S. 6 d. Sep.-Abdr.

fällt mit der Richtung der Protoplasmaströmung zusammen. Daneben finden sich in grosser Menge jene kleinen Kügelchen und Körnchen, welche fast immer aufzutreten scheinen und die ich z. B. in den Blattzellen von Vallisneria, in Cucurbita und Tradescantia-Haaren nur allein auffinden konnte.

Wie erwähnt, werden nach dem Vorgange von Hanstein diese Bildungen vielfach unter der Bezeichnung „Mikrosomen" zusammengefasst. Es dürfte aber doch vielleicht besser sein, dieses zusammenfassende Fremdwort zu vermeiden. Es ist nicht daran zu zweifeln, dass sie je nach den Einzelfällen von sehr verschiedener Natur und Zusammensetzung sind, wenn darüber auch nichts Sicheres bekannt ist und wenig Aussicht vorliegt, dass wir sobald etwas Sicheres darüber erfahren werden. Es mögen in vielen Fällen krystallinische oder amorphe feste Ausscheidungen organischer oder unorganischer Natur sein, in anderen wieder tröpfchenförmige Ausscheidungen unbekannter Gemische. Bei der Anwendung des Wortes „Mikrosomen" liegt aber die Gefahr zu nahe, alle diese Bildungen für substantiell gleichartig, homolog zu halten, wie Kerne, Chlorophyllkörper u. s. w., wie die Erfahrung der letzten Jahre zur Genüge gezeigt hat.

Wir haben aber auch noch keinen Grund anzunehmen, dass solche Ausscheidungen constant in jedem Plasmakörper vorkommen. In dem Plasma der schönen Drüsenzellen von Pelargonium zonale und von Salvia argentea habe ich sie nicht gefunden, ebenso schienen sie mir bei Lychnis dioica in den Drüsenzellen zu fehlen.

Andererseits sind es oft nur vorübergehend auftretende und sehr ephemere Bildungen, wovon man sich z. B. besonders leicht bei dem Studium der Schwärmerentwicklung verschiedener Saprolegnien überzeugen kann, betreffs welcher auf die Darstellung im letzten Kapitel verwiesen sein mag.

Dass die Angaben von Schmitz über die netzförmige Structur der Plasmakörper von Bryopsis und Saprolegnia unrichtig sind und Kunstproducten ihre Entstehung verdanken, glaube ich auf Grund meiner Untersuchungen sicher behaupten zu dürfen. Es ist unschwer zu verstehen, wie Reagentien, welche den Plasmakörper abtödten, in diesem, der coagulirbare Substanzen enthält, gerüstförmige Ausfällungen hervorbringen können. Dass solche gerüstförmige Coagulate sogar aus dem Zellsaft erhalten werden können, hat Flemming[1]) für Spirogyra beschrieben. Ich selber hatte vor dem Erscheinen des Flemming'schen Buches Gelegenheit Aehnliches zu constatiren, als ich mit Sodalösung behandelte Fäden von Zygnema cruciatum mit Essigcarmin zu färben versuchte. Auch hier erhielt ich im Saftraum die schönsten gerüst-

1) A. a. O. S. 50, 51.

förmigen Ausfällungen. Ebensolche erzeugt im Zellsaft der Urticahaare Alkoholzusatz, und besonders schön können sie erhalten werden, wenn man einen Tropfen Hühnereiweiss mit destillirtem Wasser schüttelt. Es scheiden sich dann Flocken aus, welche den schönsten „gerüstförmigen Bau" zeigen. Behandelt man dasselbe Eiweiss aber mit wässriger Jodlösung, so erhält man jene feine Punktirung, die in den Beschreibungen von Schmitz so häufig wiederkehrt.

Wenn wir also das allgemeine Vorkommen eines gerüstförmigen Baues der Grundmasse des Plasmakörpers nicht anerkennen können, so soll damit doch keineswegs behauptet werden, dass nun solche Gerüstwerke in demselben überhaupt nicht vorkämen. Ich habe mich zwar von ihrer Präexistenz in intacten Plasmakörpern bisher nie überzeugen können und muss mit Flemming, wie erwähnt, die bisher beschriebenen gerüstförmigen Structuren, soweit die Angaben auf wirklicher Beobachtung und nicht auf blossen Deutungen beruhen, für Kunstproducte halten. Aber die Möglichkeit, dass auch im normalen Lebensverlauf im Plasmakörper gelegentlich Differenzirungsproducte oder Ausfällungen in Form feiner Gerüste auftreten können, werden wir vollständig offen zu lassen haben.

Mit diesem Zugeständniss werden sich freilich die Vertreter der Anschauung von dem gerüstförmigen Bau der plasmatischen Grundmasse nicht zufrieden erklären können. Denn der Grund, welcher die Ausbildung dieser Auffassung veranlasst hat, liegt zu tief, er ist, wie schon Velten[1]) klar hervorgehoben hat, wesentlich ein theoretischer. Man schloss, das Protoplasma müsse unbedingt neben offenbar flüssigen Substanzen ein festes, zusammenhängendes Gerüstwerk besitzen, weil sonst seine vitalen Eigenschaften unerklärbar wären. Die Verlegenheit und theoretische Deductionen haben somit hauptsächlich mit zu dieser Annahme geführt, die mit der Auffassung von dem flüssigen Aggregatzustande des Protoplasmakörpers, die bei der unbefangenen Betrachtung eines in Rotationsströmung befindlichen Zellinhalts nothwendig entstehen muss, so sehr in Widerspruch steht.

Auf Grundlage der Annahme eines festen Plasmagerüstes ist es aber bisher noch nicht gelungen, irgend einen der einfacheren vitalen Bewegungsvorgänge im Protoplasma mechanisch zu erklären. Sie hat sich bisher nicht als leistungsfähig erwiesen, und wir werden das Unzutreffende derselben im Verlaufe unserer Darstellung auch weiterhin nachweisen können, indem wir zeigen, dass die Voraussetzungen, auf welchen sie beruht, aus unvollkommener Induction hervorgegangen und hinfällig sind.

1) Sitzungsber. der Wien. Akad. der Wiss. Bd. 73. 1. 1876.

Als mit den Beobachtungsresultaten in Uebereinstimmung darf also hiernach gelten, dass der nach Abzug der Chlorophyllkörper, Kerne, Oel- und Harztropfen u. s. w. übrigbleibenden Grundmasse des Plasmakörpers gewöhnlich noch kleine Tröpfchen, Körnchen oder Fädchen meist unbekannter Natur und Function eingelagert sind. Der ausser diesen noch verbleibende Rest, die eigentliche Grundmasse ist nun aber keineswegs als homogen aufzufassen. Dem widerstreiten schon eine Reihe von Beobachtungen über seine physikalischen Eigenschaften. Bei der Plasmabewegung sind es nur die dem Zellsaft benachbarteren Schichten des Wandbelegs, die an der Bewegung theilnehmen, die der Wand anliegenden sind in Ruhe in mehr oder weniger grosser Ausdehnung. So bewegen sich bei Vallisneria und Elodea die chlorophyllführenden Schichten noch, während sie bei den Characeen ruhen. Hieraus ergibt sich eine grössere Consistenz der der Wand mehr benachbarten Schichten, welche in der Regel auch mit einem stärkeren Lichtbrechungsvermögen verbunden ist. Auch die im vorigen Kapitel nachgewiesene Anordnung der Einlagerungen nach concentrischen Zonen lässt schon auf entsprechende Differenzen in der Zusammensetzung der Grundmasse schliessen.

Welche Zusammensetzung aber die Grundmasse überhaupt besitzt und welche Differenzen diese in den verschiedenen Schichten zeigt, das wird schwerlich jemals festzustellen sein. Dass Eiweiss vorhanden, zeigen die künstlichen Verdauungsversuche. Es bleibt bei ihnen aber ein unverdaulicher Rest, den Zacharias[1]) wieder als Plastin bezeichnet hat. Fette und ätherische Oele und Harze dürften vermuthlich wohl nie ganz fehlen und sich vielleicht vorwiegend in den mehr peripherischen, wasserärmeren Schichten finden. Auch dass schleimige und gummiartige Substanzen ganz allgemein vorhanden sind, werden wir wohl ebenfalls annehmen dürfen.

Nach Schmitz sollen die Maschen der Grundmasse in der Nähe der Zellwand enger sein, als weiter nach innen und darum hier statt des Gerüstwerkes nur eine feine Körnelung zu erkennen sein. Die grössere Consistenz dieser Schichten würde so allerdings in einfacher Weise erklärt sein.

Aber wir sehen, dass die Angaben, der Bau der Grundmasse des Plasmakörpers sei ein gerüstförmiger, vor der Kritik nicht Stand halten, weder soweit sie sich auf Beobachtungen noch andererseits auf theoretische Deductionen stützen.

Die Antwort auf diese Fragen, die ausserhalb des Bereichs der directen Beobachtung liegen, hängt ganz ab von dem theoretischen Standpunkt, den man einnimmt, von der Auffassung, die man sich über die chemische und physikalische Natur des plasmatischen Systems gebildet hat.

1) Botan. Zeitung 1883.

Wie ist aber das System des Plasmakörpers in dieser Hinsicht aufzufassen? Wie haben wir uns die bisher wesentlich nur nach ihrem morphologischen Bau und ihrer chemischen Zusammensetzung betrachteten Glieder des Protoplasmakörpers entstanden zu denken, welches ist ihre Bildungsmechanik, welche Kräfte sind es, die die Scheidung zwischen Grundsubstanz und Einlagerungen, zwischen Wandbeleg und Zellsaft bedingen?

Die Ursachen dieser Gliederung, dieses Baues müssen und können natürlich in jedem Moment nur in ihm selber liegen, müssen bedingt sein durch die chemisch physikalischen Eigenschaften seiner Bestandtheile. Denn der Protoplasmakörper organisirt sich aus sich selbst heraus, aus eigenen Kräften, im vollsten Gegensatz zu irgendwelchen künstlichen, etwa aus Metalltheilen zusammengesetzten Maschinen. Diesen ist ihre Organisation von Menschenhand äusserlich aufgeprägt, sie steht in keinerlei Beziehung zu der Eigenform, d. h. der Krystallform des Materials.

Auf Grundlage der thatsächlichen Befunde über die feineren Structurverhältnisse des Plasmakörpers und ihrer unbefangenen Würdigung, der Resultate der in den folgenden Kapiteln niedergelegten Untersuchungen und Ausführungen, die ihren Hauptergebnissen nach hier gleich anticipirt werden mögen und schliesslich auf Grundlage allgemeiner theoretischer Ueberlegungen ergibt sich vielmehr die Auffassung, dass die Grundmasse des Plasmakörpers und die verschiedenen Einschlüsse desselben, seine Organe mit ihren verschiedenartigen Differenzirungsproducten höchst complicirte Gemische sind, dass also der Plasmakörper in seiner Gesammtheit als eine Emulsion von mehr oder weniger flüssiger Consistenz aufzufassen ist.

Unter Zugrundelegung dieser Anschauung von der Emulsionsnatur des Plasmakörpers mögen nun auf den folgenden Blättern zunächst die sich ergebenden Consequenzen über den feineren Bau, die Organisationsmechanik u. s. w. in etwas detaillirterer Weise entwickelt werden unter fortwährender Berücksichtigung der bisher festgestellten thatsächlichen Befunde. Die Aufgabe der folgenden Kapitel wird es dann sein, zu untersuchen, in wie weit die Form- und Symmetrieverhältnisse, die Bewegungsvorgänge u. s. w. mit dieser Auffassung vereinbar, resp. aus ihr erklärbar sind.

Ist der Protoplasmakörper eine Emulsion, so sind die Bildung der Vacuolen und des Saftraumes, der Oeltropfen, das Auftreten krystallinischer und anderer Ausfällungen u. s. w. ihrer Mechanik nach aufzufassen ganz nach Analogie entsprechender Differenzirungsvorgänge in leblosen Gemischen. Wie aus bekannten Lösungen unter bestimmten

physikalisch genau definirbaren Bedingungen körnige und krystallinische Ausfällungen erfolgen, wie homogene Lösungen unter bestimmten Bedingungen gewisse Bestandtheile in Tropfenform ausscheiden können — wie Lösungen von ätherischen Oelen und Harzen in Alkohol, wenn man ihnen Wasser zusetzt, alkoholische Lösungen von Chlorcalcium u. s. w. unter denselben Bedingungen, oder auch manche bei einer bestimmten Temperatur gesättigte Lösungen beim einfachen Abkühlen —, so erfolgen auch die erwähnten Differenzirungsvorgänge im Plasmakörper, es sind Entmischungsvorgänge. Die vielen thatsächlichen Beobachtungen, welche über das Auftreten der Vacuolen, der Oeltropfen, körniger Ausfällungen vorliegen, stimmen mit dieser Auffassung durchaus überein, nur die Thatsachen, welche über die Entstehung und das Verhalten gerade der wichtigsten und verbreitetsten Differenzirungsproducte des Plasma, der Chlorophyllkörper und des Kernes neuerdings bekannt geworden sind, scheinen ihr zu widersprechen. Beide entstehen nie durch Ausscheidung aus der Substanz des Plasmas, wie man früher glaubte, sondern bisher ist nur Neubildung durch Theilung schon vorhandener beobachtet worden. Aber zu irgend einer Zeit müssen sie, resp. die Organe, aus denen heraus sie sich entwickelt haben, aus der Grundmasse des Plasmakörpers entstanden sein, und dann ist die Mechanik dieses Vorganges sicher die oben erwähnte gewesen. Jetzt sind sie dem Saftraum, den Vacuolen, den Oeltropfen u. s. w. gegenüber, die auftauchen und weiterhin wieder verschwinden, wieder gelöst werden können, sehr beständige Bildungen, die Bedingungen für ihre Löslichkeit treten im Plasma für gewöhnlich nicht ein, nur in wenigen Fällen ist eine Auflösung im Leben beobachtet worden. So verschwinden die Chlorophyllkörper in verschiedenen Haargebilden und auch in Epidermiszellen [1]), sie fehlen den hysterophytischen Pilzen und anderen höheren Parasiten und Saprophyten. Der Zellkern löst sich auf in den Gliedern der Siebröhren in einem bestimmten Alter, er verschwindet in manchen Pollenkörnern nach Strasburger.[2]) Ja bei jeder Zelltheilung geht der Kern als morphologisch selbständiges Gebilde zu Grunde, er mischt sich partiell mit der Grundsubstanz des Plasmakörpers, um sich nachher wieder daraus zu differenziren, daraus auszuscheiden, die Fadensubstanz wieder in sich aufnehmend.

Die Ursachen der Differenzirungsvorgänge, der „Organisationsvorgänge“ im Plasma können natürlich je nach den Umständen sehr verschieden sein. Wir könnten hier einfach auf die rein physikalischen Untersuchungen über die Eigenschaften der Lösungen und Mischungen verweisen, es dürfte aber zweckmässig sein, auch an dieser Stelle etwas

1) Schimper, Pringsh. Jahrb. Bd. 16. S. 3, 35, 36.
2) Zellhäute. S. 245.

näher die verschiedenen Möglichkeiten mit specieller Berücksichtigung der im Protoplasma gegebenen Verhältnisse zu discutiren. Denn gegen viele der hier zu berücksichtigenden Gesichtspunkte wird jeden Augenblick in Arbeiten, welche sich mit Fragen das Protoplasma betreffend befassen, verstossen.

Sehr einfach liegt die Sache, wenn im Chemismus im Protoplasma eine Substanz entsteht, welche durchaus unlöslich ist, sie muss sich sofort an dem Ort ihrer Bildung in fester oder flüssiger Form ausscheiden. Ist aber die Unlöslichkeit keine vollständige, was ja im Allgemeinen der Fall sein wird, so braucht die Ausscheidung keineswegs dort einzutreten, wo die Bildung stattfindet. Denn die betreffende Substanz wird sich jetzt zunächst in allen den Theilen des Plasmakörpers anhäufen, in denen sie löslich ist und zwar nach Massgabe ihrer Löslichkeit, und eine Ausfällung wird bei nicht zu stürmischer Bildung nicht eher erfolgen können, bis sich alle Theile mit ihr gesättigt haben. Wo dann nun aber weiterhin die Ausscheidung eintreten wird, das lässt sich a priori nicht sagen, und auch für einfachere Verhältnisse, als sie im Plasma vorliegen nicht, da die betreffenden rein physikalischen Untersuchungen über diesen Punkt fehlen. Festzuhalten ist aber, dass der Ort der Abscheidung eines Stoffes im Plasma über den Ort seiner Entstehung gar nichts aussagen kann; wenn wir also Krystalloide in Farbkörpern, in Kernen auftreten sehen, so ist es ganz unerlaubt ohne weiteres zu folgern, wie das in der Regel in der neueren Literatur geschehen ist, dieselben wären durch das umhüllende Organ gebildet oder aus seiner Substanz hervorgegangen. Das ist auch dann nicht erlaubt, wenn man gleichzeitig die Menge dieses letzteren abnehmen sieht, obwohl dann die Wahrscheinlichkeit schon näher liegt.

Auch über die Entstehungszeit kann natürlich die stattfindende Ausfällung eines Stoffes nichts aussagen. Denn es kann im Laufe des Chemismus im Plasma einer schon lange vorhandenen Substanz das Lösungsmittel durch Verbrauch oder durch Uebergang an andere Bestandtheile ganz oder theilweise entzogen und dadurch ihre Ausscheidung bedingt werden. Es können ferner neue Substanzen entstehen, oder von anderswoher hinzutreten und jetzt die Ausfällung bedingen u. s. w.

Da die Löslichkeits- und Mischungsverhältnisse bekanntlich sehr wesentlich von der Temperatur abhängig sind, so können Aenderungen der Gliederung des Plasmakörpers auch unabhängig vom Chemismus durch Temperaturänderungen hervorgerufen werden, und von nicht zu unterschätzender Bedeutung dürften auch die Variationen des Druckes im Zellinhalt sein, wie sie durch die Variationen der osmotischen Spannung erzeugt werden, besonders, da es sich hier um recht beträchtliche Druckschwankungen handeln kann. Möglicherweise ist es hierauf

zurückzuführen, dass in der lebenden Zelle z. B. im Saft oft Substanzen gelöst vorzukommen scheinen, die sich mit dem Tode, mit dem Aufhören des Turgors, ausscheiden. [1])

Auch übersättigte Lösungen werden im Plasma ohne Zweifel häufig vorkommen, und es ist klar, dass in solchen Fällen schon mechanische Erschütterungen und dergl. werden genügen können, um in ihm einen Entmischungsvorgang, eine Organisationsänderung, und damit eine völlige Störung des herrschenden Gleichgewichtszustandes hervorzurufen.

Es wird nicht nöthig sein, nach den vorstehenden Ausführungen auch noch die Umstände näher zu discutiren, die eventuell für die Wiederauflösung ausgeschiedener Bestandtheile massgebend sein können, da sie sich jeder leicht selber wird entwickeln können.

Wohl in allen Fällen handelt es sich, wenn im Protoplasma Ausfällungen flüssiger Natur auftreten, nicht um reine Substanzen, sondern um Gemische mehr oder weniger complicirter Natur, auch für die vorkommenden Oel- und Harztropfen dürfte das im Allgemeinen zutreffen.

Wiederholen sich die Entmischungsvorgänge in einem schon vom Plasma allseitig umschlossenen Organ, so können in mannigfaltiger Weise ineinander geschachtelte Systeme gebildet werden. Die Gliederung des Kernes, der Chlorophyllkörper, des Zellsaftes ist auf diese Weise entstanden zu denken, theils auf ontogenetischem, theils auf phylogenetischem Wege.

Bei allen diesen Entmischungsvorgängen wird sich die Vertheilung der vorhandenen Substanzen auf die neu sich bildenden Systeme ganz nach den Verhältnissen der physikalischen Anziehungskräfte gestalten. In den Saft werden also die am leichtesten in Wasser löslichen Substanzen übertreten, wie die Erfahrung es auch bestätigt. Harze und fette Oele dürfen wir in ihm aber nicht suchen, sie finden sich im Plasmakörper selber.

Unter Umständen werden also, ebenso wie man gewisse Stoffe einer wässrigen Lösung durch Aether oder Chloroform vollkommen entziehen kann, solche auch in der Zelle infolge der Löslichkeitsverhältnisse sich streng auf bestimmte Organe des Plasmakörpers localisiren, sich in ihnen anhäufen müssen. Ganz dasselbe wird aber auch für verschiedene Zellen gelten können. Vom Standpunkt einer rein physikalischen Auffassung hat es darum gar nichts Auffallendes, wenn z. B. gewisse Zellen allein Zucker, Inulin, Gerbstoff, Farbstoffe u. s. w. in sich aufspeichern. Es ist überflüssig zur mechanischen Erklärung dieser Thatsache, wie das augenblicklich in der Pflanzenphysiologie meist geschieht, anzunehmen, die betreffenden Substanzen wanderten nicht als

1) Vergl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I. S. 316.

solche zu, sondern unter anderer Form und würden erst an Ort und Stelle durch mehr oder weniger complicirte Umwandlungen gebildet.

In der Regel dürften es wenigstens z. Th. verschiedene Substanzen sein, welche den einzelnen Organen des Plasmakörpers bei der Entmischung zufallen. Nothwendig ist das aber nicht, es könnte auch unter Umständen hier derselbe Fall eintreten, wie wenn Aether und Wasser, Oel und Alkohol u. s. w., überhaupt verschiedene nicht in jedem Verhältniss miteinander mischbare Flüssigkeiten in Berührung kommen. Man erhält dann zwei vollkommen scharf voneinander abgesetzte Lösungen, die qualitativ ganz gleiche Zusammensetzung besitzen.

Es ist aber nicht sehr wahrscheinlich, dass dieser einfache Fall im Plasmakörper öfter oder jemals realisirt wäre, im Allgemeinen werden die einzelnen Organe auch in irgend einer Weise qualitative Verschiedenheiten in ihrer Zusammensetzung zeigen. Darum wird aber doch ein und dieselbe Substanz sich in mehreren bis vielen Organen zugleich finden können. Der Chlorophyllfarbstoff findet sich allerdings allein nur in den Organen, die von ihm ihren Namen haben, der Gerbstoff kommt oft allein im Zellsaft oder in besonderen Gerbstofftropfen vor, er kann aber auch im Zellkern, in der Membran oder in den Harzemulsionen der Harzcanäle vorkommen, ja ist sogar in der Nähe der Vegetationspunkte mancher Pflanzen diffus im Protoplasma vertheilt. Es werden in dieser Beziehung zweifelsohne alle möglichen Abstufungen vorkommen, bis zu dem Extrem, welches uns das Wasser im Organismus darbietet, welches als integrirender Bestandtheil in alle Differenzirungsproducte des Zellleibes eintritt, mit Ausnahme der Oel- und Harztropfen.

Es ist klar, dass theoretisch jedes Organ, jeder einzelne morphologische Bestandtheil des Plasma auch in Bezug auf seine Reaction vollkommen selbständig und unabhängig von den anderen sein kann, wenn auch nicht sein muss. Es kann darum nicht ohne weiteres von der Reaction des gesammten Protoplasma gesprochen werden. Die Grundmasse kann sehr wohl alkalisch reagiren, während der Zellkern sauer ist und der Nucleolus in ihm vielleicht neutral oder wieder alkalisch. Und es könnte unter Umständen jedes Organ seine Reaction einer anderen chemischen Substanz zu verdanken haben.

Mit den Aenderungen der Zusammensetzung, welche der Plasmakörper im Verlaufe seiner Entwicklung in qualitativer und quantitativer Hinsicht erleidet, muss natürlich auch die Vertheilung der Substanzen auf die einzelnen Organe, sowie die Organisation selber in mannigfaltiger Weise wechseln. Die Detailuntersuchungen haben uns für das letztere eine hinreichende Zahl von Beispielen bekannt gemacht. Es ist nicht nöthig hier speciell darauf einzugehen, da wir weiter unten noch einmal auf diese Thatsachen näher zurückzukommen haben.

Besondere fundamentale und irreparable Organisationsänderungen

werden aber durch gewisse gewaltsame und plötzliche Eingriffe in das System des Plasmakörpers hervorgerufen, wir reden dann von einem Abtödten desselben. Worin die hierbei eintretenden Desorganisationserscheinungen im Einzelnen beruhen, dafür fehlen uns im Allgemeinen alle sicheren Anhaltspunkte. Nach dem, was sich dabei unter dem Mikroskop verfolgen lässt, haben wir aber guten Grund anzunehmen, dass hauptsächlich irreparable Störungen des Gleichgewichts in der Vertheilung der Stoffe durch den äusseren Eingriff den ersten Anstoss und Ausschlag geben. Wir sehen wie einzelne Organe stark anschwellen und sich aufblähen, oft sogar sich lösen, andere dagegen zusammenfallen, wir sehen Ausfällungen mannigfaltiger Art auftreten und besonders die Eiweisskörper bald in die unlösliche, coagulirte Modification übergehen. Besonders die Coagulation der Eiweisskörper ist der Grund für die rapide abtödtende Wirkung, welche Reagentien, wie Jod, Ueberosmiumsäure, Sublimat u. s. w. auf lebendes Plasma ausüben.

Wir haben oben hervorgehoben, dass die Vertheilung der Substanzen auf die einzelnen Organe des Plasmakörpers nach Massgabe der physikalischen Anziehungskräfte statthaben muss. Es ist dabei aber nicht ausser Acht zu lassen, dass infolge der Einschachtelung verschiedener morphologischer Bestandtheile des Plasmakörpers ineinander ganz häufig Verhältnisse der Vertheilung auftreten und sich dauernd werden erhalten können, die sich auf anderem Wege nie gebildet haben würden. In den Chlorophyllkörpern, im Kern, im Saftraum u. s. w. können sich sehr wohl morphologische Differenzirungsproducte dauernd bilden, die an und für sich in der Grundmasse des Plasma löslich resp. in ihr nicht beständig wären, wenn dieselbe frei hinzutreten könnte und umgekehrt.

Auf diese Verhältnisse ist für das vollkommen richtige Verständniss der Gliederung des Plasmakörpers und seines Gleichgewichtszustandes noch besonderes Gewicht zu legen. Die Organisation des Plasma ist nicht das Product eines simultanen Entmischungsvorganges in einer zu irgend einer Zeit ganz homogenen Lösung, sondern ist eine historisch gewordene, und gewiss nimmt jetzt niemals ein entwicklungs- und lebensfähiger Plasmaleib wieder die Form einer unorganisirten, homogenen Lösung an. Ob das Plasma irgend einmal in dieser Form existirt hat, ist natürlich nicht zu entscheiden, für den gegenwärtigen Organisationszustand ist es aber von höchster Bedeutung, welchen Gang die successive Differenzirung, Organisation, genommen hat. Man kann sich das in roher Weise etwa durch die Ueberlegung veranschaulichen, dass man beim successiven Zusammenbringen verschiedener nicht vollkommen miteinander mischbarer Flüssigkeiten oder Lösungen sehr verschiedene stabile Endproducte erhalten wird — auch wenn alle chemischen Umsetzungen ausgeschlossen sind — je nachdem man alle Ingredien-

zien gleichzeitig zusammenbringt, oder sie erst zu zweien, dreien u. s. w. combinirt und dann diese partiären Producte erst wieder vereinigt.

Um die Trennung der Organe voneinander und von der Grundmasse des Plasmakörpers zu bewerkstelligen, ist eine Umhüllung durch Membranen oder membranöse Schichten nicht erforderlich, ebenso wenig, wie solche an der Grenze nicht mischbarer Flüssigkeitsgemenge erforderlich und vorhanden sind.

Das überall vorhandene Oberflächenhäutchen kann indessen auch im Protoplasma in den betreffenden Schichten nicht fehlen.

Es finden sich aber im Protoplasma doch manche Organe von Membranen oder von besonders differenzirten Schichten der Grundmasse umgeben, so z. B. der Zellkern oder in vielen Fällen auch der Saftraum oder kleinere Vacuolen. In solchen Fällen dürften wahrscheinlich oft Niederschlagsmembranen vorliegen. Indessen liegen die Verhältnisse in Bezug hierauf so complicirt, dass sie erst in einem der folgenden Kapitel eine eingehendere Besprechung finden können.

Im Anschluss an das Vorstehende ist es vielleicht auch jetzt noch nicht ganz überflüssig, hier nachträglich noch mit einigen Worten auf einige specielle Eigenthümlichkeiten des Protoplasma einzugehen, die seit langem und allgemein bekannt, von Sachs[1]) in seiner Experimentalphysiologie besonders hervorgehoben und gegen die von uns hier vertretene Anschauung von der flüssigen Natur desselben ins Feld geführt sind.

Zunächst hebt Sachs die Fähigkeit des Protoplasmakörpers seine Gestalt zu verändern und sich innerlich zu differenziren als unverträglich mit dem Wesen einer Flüssigkeit hervor. Dass das letztere nicht zutreffend ist, haben wir oben hinlänglich gezeigt und auch den ersten Einwurf hoffen wir im nächsten Kapitel als unhaltbar erweisen zu können. Nach Sachs soll es ferner nicht denkbar sein, dass das Plasma als wässrige Lösung scharf gegen den Zellsaft sowohl, wie gegen umgebendes Wasser abgegrenzt sein könne. Aber analoge Fälle sind, wie wir sahen, nichts weniger als selten. So kennen wir scharf gegeneinander abgegrenzte wässerig-alkoholische Lösungen verschiedener anorganischer Salze, wie SO_4Mn, SO_4K_2, NaCl, KCl u. s. w.[2]) derart, dass der eine Theil aus einer concentrirteren wässrigen Salzlösung mit wenig Alkohol, der andere aus einem concentrirteren wässrigen Alkohol mit wenig Salz besteht. So sind ätherhaltiges Wasser und wasserhaltiger Aether, alkoholhaltiges Oel und ölhaltiger Alkohol scharf voneinander geschieden, gegeneinander individualisirt, wie man mit Bezug auf den Protoplasmakörper sich besser ausdrücken kann.

Die Fähigkeit ferner im Leben Farbstoffe aus dem Zellsaft nicht aufzunehmen, sie bei der Plasmolyse mit Zucker nicht abzugeben, sie auch aus äusseren Flüssigkeiten erst nach dem Tode aufzuspeichern, alles das sind Eigenschaften, die im Princip bei Emulsionen ebenso gut vorkommen. Denn was heisst in die Ausdrucksweise der Physik und Chemie übersetzt das Obige denn anders als: Von zwei unmittelbar sich berührenden Gemischen bestimmter Natur, die gegeneinander individualisirt sind, gibt das

1) S. 444 u. ff.

2) Vergl. Ostwald, Allgemeine Chemie I. S. 399.

eine von einer bestimmten gelösten Substanz (Farbstoff) nichts an das andere ab, während gleichzeitig andere (z. B. Wasser) ganz oder theilweise ausgetauscht werden können. Es ist doch gewiss nicht auffallend, dass mit dem Tode das Verhalten sich in dieser Beziehung in fundamentaler Weise ändert, da das physikalische Gleichgewicht des ganzen Systems dabei über den Haufen geworfen wird, die Eiweisskörper coaguliren u. s. w. Irgend welche wunderbare dem Protoplasma allein eigenthümliche Eigenschaften und Fähigkeiten können hierin also in keiner Weise gefunden werden.

Im Uebrigen sind auch diese immerhin auffallenden Thatsachen nach den Ergebnissen der letzten Jahre in ihrer Allgemeinheit keineswegs mehr zutreffend. Schon vor einigen Jahren haben K. Brandt und Certes nachgewiesen, dass man lebende Protozoen durch Bismarckbraun und Cyanin färben kann, und ganz neuerdings hat Pfeffer[1]) gezeigt, dass ausser diesen beiden noch viele andere Anilinfarben z. B. Methylenblau und Methylviolett in das lebende pflanzliche Plasma aufgenommen werden, so z. B. bei Spirogyra, Azolla, Trianea, Lemna u. s. w.

Was nun die feinere Organisation des Plasmakörpers und seiner Bestandtheile anbetrifft, so ergibt sich die hier zu vertretende Ansicht aus den bisherigen Entwicklungen von selbst. Wir sehen im Protoplasmakörper eine Reihe von gegeneinander individualisirten Gemischen mehr oder weniger weich- oder zähflüssiger Natur, z. Th. wohl auch gequollene Systeme (von der Stärke, den Krystalloiden, der Zellhaut, die uns hier nicht näher beschäftigen, abgesehen). Für den feineren Bau dieser Gemische gilt das, was in der Physik für entsprechende unorganische Gemische angenommen wird, dass nämlich die Molekülе der Componenten in der Regel isolirt gleichmässig in der Masse vertheilt sind. Für die zähflüssigeren werden wir mit Pfaundler[2]) passend das Vorhandensein grösserer, festerer Molekülaggregate in mehr oder weniger weitgehender Weise anzunehmen haben. Ein weiteres Eingehen auf diese Fragen wird hier nicht nöthig sein, um so weniger, als wir sie bei unseren weiteren Erörterungen vollständig entbehren können.

Wie findet nun das Wachsthum des Protoplasma und seiner morphologischen Betandtheile statt, durch Intussusception oder durch Apposition? Rein theoretisch ergeben sich im Anschluss an die von uns hier vertretene Auffassung drei Möglichkeiten. Es kann eine gewisse Substanz entweder an irgend einer Stelle im Plasmakörper sich bilden und es können dann die anfangs zerstreuten Molekülе an einer oder an mehreren Stellen zu grösseren sichtbaren, individualisirten Massen zusammentreten und sich hier durch Hinzutritt immer neuer Molekülе mehr und mehr vergrössern. Es könnten zweitens aber auch die be-

1) Botan. Zeitung 1886. S. 120.
2) Sitzungsber. der Wien. Akad. d. Wiss. 1876. Bd. 73. 2.

treffenden Substanzen im Innern eines bestimmten Organes selber entstehen und an Ort und Stelle zur Vermehrung der Masse desselben beitragen. Drittens können schliesslich grössere in irgend einer Weise vorher entstandene Massen in mehr oder weniger grosser Zahl miteinander verschmelzen.

Es besteht kein Zweifel, dass alle drei Modificationen, sowie auch Combinationen von ihnen im Protoplasma wirklich vorkommen. Beispiele für den ersten Fall haben wir in der Abscheidung von Oel- und Harztropfen, von krystallinischen und körnigen Bildungen organischer oder anorganischer Natur u. s. w. Durch Vereinigung sichtbarer, schon vorher individualisirter Massen entstehen die meisten Safträume und viele grösseren Vacuolen, ganz gewöhnlich auch grössere Oel- und Harztropfen. Wie es scheint nicht selten auch Nucleolen, so in den jungen Theilkernen von Chara nach Zacharias[1]), im Embryosack von Galanthus nach Strasburger[2]), bei Hydra nach Pfitzner[3]). Auch Zellkerne können auf diese Weise entstehen, so bekanntlich der secundäre Embryosackkern, der mächtige Kern mancher jungen Endospermzellen, die Zellkerne der Schwärmer von Derbesien[4]) und der Gameten von Dasycladus, der Kern des befruchteten Eies. Schliesslich auch ganze Plasmakörper beim Befruchtungsvorgang und bei der Plasmodiumbildung.

Combinationen des ersten und zweiten Wachsthumsmodus liegen jedenfalls ganz allgemein vor bei dem Wachsthum eines grossen Theiles der einzelnen Organe des Plasmakörpers, wie der Chlorophyllkörper, der Kerne u. s. w. und schliesslich bei dem normalen Wachsthum des gesammten Plasmakörpers selber.

Wie die neu hinzutretenden Substanzen sich an die vorhandenen Massen anfügen, bedarf einer näheren Erörterung nicht. Es erfolgt nicht anders, wie bei der Vergrösserung eines beliebigen Flüssigkeitstropfens infolge von Condensation an seiner Oberfläche oder durch Verschmelzung mit anderen.

Der lebende Organismus besitzt die Fähigkeit auf eine Reihe von aussen kommender Einflüsse in specifischer und zweckmässiger Weise zu reagiren. In der Regel finden die Reactionen statt zufolge der Vermittlung des lebenden plasmatischen Substrates und der Effect ist im Allgemeinen nie, wie bei directem Kräfteumsatz und directer Kräfte-

---

1) Botan. Zeitung 1885.

2) Controversen. S. 22.

3) Beiträge zur Lehre vom Bau des Zellkerns und seiner Theilungserscheinungen.

4) Mitth. d. zoolog. Station zu Neapel. Bd. 2. Heft 1. S. 77, 78.

übertragung der Einwirkung proportional, sondern kann beliebige, theils grössere, theils geringere Werthe erreichen.

In welcher Weise haben wir uns nun auf Grundlage unserer Anschauung von der Organisation und der Mechanik des Protoplasma im Einzellfalle den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung vorzustellen?

Als die hauptsächlichsten reizauslösenden Einflüsse sind bekannt die Wärme, das Licht, die Schwerkraft, Feuchtigkeitsdifferenzen, Chemikalien, Berührungen und Erschütterungen.

Die letzteren werden unmöglich anders wirken können, als indem sie labile Gleichgewichtszustände, physikalischer oder chemischer Natur zum Zusammenbruch bringen. Die Variationen der Temperatur- und der Beleuchtungsverhältnisse werden dagegen in mannigfaltigster aber für die Einzelfälle bei unseren gegenwärtigen Kenntnissen meist noch nicht näher präcisirbarer Weise den Chemismus und die Organisation des Plasma beeinflussen können. Beim Licht können theils seine Wirkungen auf die Temperaturverhältnisse, theils die auf den Verlauf chemischer Processe zur Geltung kommen. Im Uebrigen mag die primäre Wirkung vielfach vielleicht nur eine rein physikalische sein, indem, wie oben näher erörtert, die Organisation der plasmatischen Emulsion in massgebender Weise von der Temperatur abhängt, zu der die Löslichkeitsverhältnisse in innigster Beziehung stehen. Die mittelbaren Effecte des ersten Anstosses werden dann sowohl chemischer wie physikalischer Natur sein können.

Die primäre Wirkung der Schwerkraft kann ohne Zweifel zunächst nur darin bestehen, dass im Protoplasma vorhandene Substanzen und Gemische von relativ hohem specifischen Gewicht dem Zuge der Schwere folgend der nach unten gerichteten Seite zustreben, wie es z. B. für die mit Stärke erfüllten Leucoplasten der Stärkescheide durch Dehnecke's[1]) Untersuchungen näher nachgewiesen worden ist. Die weiteren hierdurch unmittelbar oder mittelbar hervorgerufenen Aenderungen der Organisation und des Chemismus variiren dann aber nach den Einzelfällen bekanntlich in sehr mannigfaltiger Weise.

Wie Feuchtigkeitsdifferenzen und gewisse Chemikalien Einfluss auf die Organisationsverhältnisse und den Verlauf des Chemismus im Protoplasma gewinnen können, liegt nach allem Vorhergehenden ebenfalls hinreichend klar, so dass es nicht nöthig erscheint in eine nähere Discussion darüber einzutreten. Berührungen werden schliesslich theils in derselben Weise rein mechanisch wie die Erschütterungen, theils aber auch dadurch auslösend wirken können, dass sie Hindernisse für den normalen Stoffaustausch mit dem umgebenden Medium schaffen, indem

1) Bonner Dissertation 1880.

sie z. B. die Aufnahme von Sauerstoff, Kohlensäure aus der Luft, oder die Abgabe von Wasserdampf u. s. w. an dieselbe nicht unbeeinflusst lassen werden.

Aus den vorstehenden Auseinandersetzungen ergibt sich auch, welche Stellung wir hier den in den letzten Jahren vielfach und mit Eifer erörterten Fragen über den Werth und die Bedeutung der den Plasmakörper zusammensetzenden Substanzen gegenüber einzunehmen haben.

Diese Fragen sind wesentlich physiologisch-chemischer Natur, sie sind aber in umfassender Weise von den Vertretern der physiologischen Chemie noch kaum, um so eifriger dagegen von Seiten der Morphologen und Histologen erörtert worden.

Die Gründe dafür waren wesentlich speculativer Natur, und unter den obwaltenden Verhältnissen konnte die Behandlung der Frage ebenfalls nur eine wesentlich speculative sein. Es wurde versucht auf dem Wege der Elimination den wesentlichen Bestandtheil des Plasma zu ermitteln, und da war es nur natürlich, dass das für uns noch in so manchen Beziehungen in geheimnissvolles Dunkel gehüllte Eiweiss allein im Stande erschien Träger all der räthselhaften Lebensäusserungen zu sein, welche man den wohlbekannten Bestandtheilen des Protoplasma nicht glaubte zuschreiben zu dürfen. So wurde denn das Protoplasma für „lebendes Eiweiss“ erklärt, das Eiweiss zum Alles leistenden deus ex machina im Organismus gemacht.

Wie Baumann[1]) in seiner trefflichen Besprechung der diesbezüglichen Publicationen von Löw und Bokorny[2]) hervorgehoben hat, wäre es logisch ebenso gut begründet, das Wasser für den wesentlichsten Bestandtheil des Protoplasma zu erklären. Thatsächlich ist aber die Behauptung, das Plasma sei „lebendes Eiweiss“ nicht allein willkürlich, sondern sie steht auch mit den Thatsachen der physiologischen Chemie und der experimentellen Physiologie in offenbarstem Widerspruch. Die erstere zeigt, dass die lebende Substanz der Organismen ausnahmslos eine ausserordentlich complicirte Zusammensetzung besitzt, nie aus reinem Eiweiss besteht. Die letztere hat bewiesen, dass die Grundstoffe, welche allein in die Constitution des Eiweisses eingehen, C, H, O, N, S niemals genügen, um die Existenz zu ermöglichen, dass zum mindesten noch die Elemente der nothwendigen Aschenbestandtheile in passenden Verbindungen neben der nöthigen Wassermenge gegeben sein müssen.

Diese ganze Anschauung beruht auf einer totalen Verkennung der

---

1) Pflügers Archiv. Bd. 29. 1882. S. 400.

2) Die chemische Ursache des Lebens. München 1881.

physikalischen Natur des plasmatischen Systems, und so hat sie sich denn bisher als vollkommen unfähig erwiesen, irgend einen der einfacheren Lebensvorgänge zu erklären und dem mechanischen Verständniss näher zu bringen. Es geht das schon daraus zur Genüge hervor, dass keiner ihrer Vertreter jemals den Versuch gemacht hat, ein einfacheres Bewegungs- oder Entwicklungsphänomen in exact wissenschaftlicher Weise daraus abzuleiten.

Thatsächlich fehlen uns augenblicklich noch die nothwendigsten Grundlagen, um die Frage nach dem Werth der Bestandtheile, die das Plasma zusammensetzen zu entscheiden. Ihre wissenschaftliche Bearbeitung ist ja kaum erst in Angriff genommen und der Schleier, welcher das Dunkel des Chemismus im Plasmakörper umgibt, hat kaum an wenigen Stellen etwas gelüftet werden können.

Liesse sich in derselben Weise, wie für die Elemente auch für die das Plasma zusammensetzenden Verbindungen auf experimentellem Wege feststellen, welche für das Leben nothwendig, welche entbehrlich sind, so würde sich gewiss eine ganz stattliche Zahl von ihnen als absolut unentbehrlich zur Unterhaltung des chemischen Getriebes im Organismus erweisen. Da die experimentelle Methode uns aber hier im Stich lässt, oder doch bisher nur sehr vieldeutige Resultate liefert, so müssen wir uns mit Hülfe der vergleichenden Analyse einigermassen zu orientiren suchen, in der Weise wie das Reinke in seinen Studien auseinandergesetzt hat.

Von den für den Bestand des Plasma nothwendigen Verbindungen lebt aber die eine ebenso gut, wie die andere, nimmt man eine weg, so wird normale Entwicklung ebenso wenig möglich sein, als wenn in der Nahrung eines der nothwendigen Elemente fehlt.

Zweifelsohne werden sich übrigens in dieser Beziehung nicht alle Organismen gleich verhalten, manche Substanzen werden für den einen nothwendig, für den anderen dagegen entbehrlich sein können, und dasselbe Verhalten wird vielfach gewiss auch für die verschiedenen Entwicklungsstufen eines und desselben Organismus zutreffen.

Nicht selten wird auch der Fall vorkommen können, dass eine Substanz vollkommen unentbehrlich zur Unterhaltung des Lebens eines Organismus ist, ohne dass sie darum selbst in den Chemismus mit eingreift. Sie kann z. B. auch die Stelle des Lösungsmittels im chemischen Process einnehmen, welches die reagirenden Molekule beweglich macht. Oder auch die Function übernehmen, welche dem Gerüst bei einer complicirten Maschine zufällt, das Räderwerk in der nöthigen Stellung zueinander zu erhalten. Dann würde also die Gegenwart der betreffenden Substanz die Aufgabe haben zu bewirken, dass gewisse in den Chemismus direct eingreifende Verbindungen sich in bestimmter Weise im Plasma und in seinen Differenzirungsproducten vertheilen. Es wäre

überflüssig weitere Möglichkeiten hier noch in allgemeiner Weise zu erörtern, da specielle Fälle, wegen der Complication des zu Grunde liegenden plasmatischen Systems undiscutirbar sind.

Die vorgefundenen Schwierigkeiten werden wenig geringer, wenn wir versuchen wollen, die einzelnen Organe des Plasmakörpers ihrer Bedeutung nach zu bestimmen. Eine sehr wichtige Rolle im Chemismus haben natürlich die Farbkörper, der Zellkern, die Grundmasse, die Vacuolen, der Zellsaft. Aber einzig von den Chlorophyllkörpern, den Organen der Kohlenstoffassimilation ist uns die Function bekannt. Die Function des Kernes ist noch vollkommen dunkel, ebenso die der Vacuolen und die des Zellsaftes, wenn wir von der mechanischen Bedeutung des letzteren zur Herstellung des Turgors, die gewiss nicht die einzige ist, absehen. Dass die Stärkekörner und Krystalloide als solche im Chemismus des Protoplasma keine Rolle spielen, liegt auf der Hand, für Oel-, Harz-, Gerbstofftropfen u. s. w. ist das aber keineswegs a priori wahrscheinlich.

In noch höherem Grade wie für die einzelnen Organe gilt diese Ungewissheit für die einzelnen morphologischen Bestandtheile derselben. Welche Function in den Farbkörpern den Grana, welche der Grundmasse; welche im Zellkern dem Nucleolus, dem Gerüst, der Grundmasse zukommt, ist noch völlig dunkel. Auch die zahlreichen Vermuthungen, welche von verschiedener Seite darüber ausgesprochen sind, haben nichts zur Aufhellung dieser Verhältnisse beitragen können, da alle sicheren Grundlagen fehlen.

Am richtigsten fassen wir die Sachlage vorläufig jedenfalls dann auf, wenn wir jeden individualisirten Bestandtheil des lebenden Zellkörpers als ein besonderes kleines Laboratorium auffassen, welches infolge der ihm eigenthümlichen substanziellen Ausstattung auch ihm allein eigenthümliche Producte zu liefern hat. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass sehr wohl ein Differenzirungsproduct des Zellleibes eine eigenartige Function und eine massgebende Bedeutung im Chemismus besitzen kann, auch dann, wenn wir finden, dass es in den entsprechenden Zellen ein und derselben Pflanze oder verschiedener Individuen derselben Art nicht constant vorhanden ist. Ein Pilz, ein Penicillium z. B., kann von sehr verschiedenen Nährsubstanzen ausgehend, das Ziel seiner Entwicklung erreichen und es unterliegt keinem Zweifel, dass die intermediären Producte nach den Einzelfällen dabei mannigfach variiren müssen. Ebenso ist es auch möglich, dass, wenn z. B. in einer Zelle ausgeschiedene Gerbstoff-, Oel- oder Harztropfen u. s. w. vorhanden sind, die intermediären Stoffwechselvorgänge einen wesentlich anderen Weg einschlagen, als dann wenn sie fehlen, ohne dass das Endresultat darum ein anderes zu sein braucht.

Ein Organ kann im Plasma einer Zelle in einem bestimmten Sta-

dium der Entwicklung derselben von höchster Bedeutung sein, zu einer anderen Zeit dagegen vollständig functionslos werden. Auch für den Kern und die Farbkörper dürfte das nicht selten zutreffen, mit Sicherheit lässt es sich aber z. B. für den Zellsaft behaupten. Der Plasmakörper ist befähigt unter solchen Umständen seine Organisation in mehr oder weniger tief greifender Weise umzugestalten, er kann gewisse Organe auflösen, die Zusammensetzung anderer variiren und dadurch den Chemismus in andere Bahnen lenken, die durch Rückkehr zum früheren Organisationszustand oder durch anderweitige Aenderungen derselben nach Bedürfniss wieder verlassen werden können.

Dergleichen Organisationsänderungen finden wir in den Farbkörpern während ihrer Metamorphose von Leucoplasten zu Chloro- und Chromoplasten und umgekehrt, im Kern bei der Theilung in ganz fundamentaler Weise, im Zellsaft z. B. in den gereizten Drüsen der Droseratentakel u. s. w. Auch in der Grundmasse sind sie ganz allgemein, sehr auffallend und rasch wechselnd z. B. bei der Bildung der Schwärmer und Oosphaeren der Saprolegnien, wie wir im letzten Kapitel näher zu untersuchen haben.

Besonders ist hier aber auf die bei Protozoen und Algenschwärmern so allgemein verbreiteten contractilen Vacuolen hinzuweisen. Ihrem Auftreten liegen periodisch im Protoplasma sich wiederholende Entmischungsvorgänge zu Grunde, ihr Verschwinden scheint aber nicht immer auf denselben Bedingungen zu beruhen. In der Mehrzahl der Fälle wird vermuthlich, wie das oft direct nachweisbar ist, die ausgeschiedene Flüssigkeit nach aussen entleert, die Vacuole fungirt also als Excretionsorgan. In manchen anderen dürfte sie aber unmittelbar wieder in das Protoplasma aufgenommen werden, das machen mir wenigstens Beobachtungen an einigen nicht näher bestimmten Amoeben durchaus wahrscheinlich. Wegen der mannigfachen und interessanten Einzelheiten die in Bezug hierauf übrigens vorkommen, kann an dieser Stelle auf die ausführliche Behandlung in Bütschlis[1]) Protozoen verwiesen werden. Auch ein zweifelsohne so wichtiges Organ, wie der Zellkern kann, wie schon oben erwähnt, unter Umständen fehlen, so in den Siebröhrengliedern der höheren Pflanzen, wo er unbeschadet der Functionsfähigkeit schon während der Entwicklung aufgelöst wird, so auch nach Strasburger in manchen Pollenkörnern.

Wie verschieden die Bedeutung der einzelnen Organe für die verschiedenen Formen ist, zeigen sofort die Pilze und viele höheren Saprophyten, denen die Farbkörper, die Schizophyten, denen der Zellkern fehlt.

Natürlich wird auch ein ganzes Organ unter Umständen, ebenso, wie eine einzelne Substanz, eine rein physikalische Bedeutung für die

1) Vergl. bes. S. 105 ff., 274 ff., 708 ff.

Stabilität einer bestimmten Organisation des Plasmakörpers besitzen können. Schon dies allein würde z. B. dem Zellsaft, auch ganz abgesehen von seiner mechanischen Bedeutung und von den ohne Zweifel in ihm vorsichgehenden chemischen Umsetzungen, eine fundamentale Bedeutung sichern. Denn Niemand wird bestreiten, dass der Wandbeleg sich sofort desorganisiren würde, wenn es möglich wäre den Zellsaft durch reines Wasser oder durch irgend eine andere Flüssigkeit zu ersetzen. So werden auch Stärkekörner oder Krystalle organischer oder unorganischer Natur oft ganz wesentlich für die Erhaltung gwisser Organisationsverhältnisse der betreffenden Zellen sein, ebenso wie ganz allgemein die Zellhaut, dadurch, dass sie die Turgorkraft compensirt und der Aufnahme von Wasser ein bestimmtes Ziel setzt. Die meisten normaler Weise mit Membran umgebenen Plasmakörper würden, von derselben befreit, in Wasser zweifelsohne sofort verquellen. Wir finden darum auch, dass Plasmamassen, die ihre Membran aufgeben, um frei in das umgebende Medium hinauszutreten, wie die Schwärmer von Algen und Pilzen u. s. w., sich vorher contrahiren, d. h. sie setzen ihre Affinität zum Wasser herab, bevor sie austreten, um des mechanischen Schutzes der Zellmembran gegen Verquellung entbehren zu können.

Fassen wir die Resultate der vorstehenden Auseinandersetzungen zusammen, so ergibt sich, dass uns sowohl für die einzelnen Stoffe, wie für die verschiedenen Organe des Plasmakörpers mit wenigen Ausnahmen noch alle sicheren Anhaltspunkte zur Werthbestimmung fehlen. Bei aller Anerkennung der Thatsache, dass in dieser Hinsicht alle möglichen Variationen vorkommen müssen, ist darum doch vorläufig von jedem Versuche der Classification der einzelnen Stoffe und einzelnen Organe hinsichtlich ihrer Wichtigkeit u. s. w. für das Leben abzusehen.

Es ist in der letzten Zeit von verschiedenen Seiten begonnen worden, die einzelnen Organe des Zellleibes gesondert zu benennen und zu dem Protoplasma in Gegensatz zu stellen. Mohl[1]) fasste unter dem Wort Protoplasma Alles zusammen, was ausser seinem Primordialschlauch und dem Zellkern an mehr oder weniger zähflüssigen Bestandtheilen in der Zelle vorhanden war. Zunächst hat nun Hanstein[2]) zwischen Protoplasma und Metaplasma zu unterscheiden versucht, indem er unter dem letzteren Namen alle im Zellinnern vorkommenden geformten oder formlosen Substanzen zusammenfasste, die theils zu chemischer Arbeit noch bestimmt, theils schon verarbeitet, etwa zu späterem Verbrauch, darin enthalten sind.

1) Botan. Zeitung 1846.

2) Das Protoplasma. Heidelberg 1880. S. 8.

Die oben erörterten praktischen Schwierigkeiten, die sich aus unserer geringen Kenntniss der chemischen Mechanik in der Pflanze ergeben, lassen diese Hanstein'sche Trennung als unhaltbar erscheinen.[1])

Es sind dann ferner von verschiedenen Seiten ausser dem von Mohl schon ausgeschlossenen Zellkern, auch die Chlorophyllkörper, Stärkebildner und andere morphologisch differenzirte Organe von dem Begriff des Protoplasma ausgeschlossen worden. Dass aus dies als unzweckmässig bezeichnet werden muss, ergibt sich, sobald man dies Princip consequent für alle Fälle durchzuführen versucht. Der Erfolg ist dann, dass schliesslich der Begriff Protoplasma unter den Händen schwindet, auf Nichts reducirt wird. Nimmt man mit Strasburger für die Grundmasse das Wort „Cytoplasma" an, so ist das Wort Protoplasma vollständig überflüssig geworden, aus der Nomenclatur zu streichen, denn wir kennen in Zukunft nur Zellkerne, Chlorophyllkörper, Vacuolen, Cytoplasma, Gerbstoff-, Oeltropfen u. s. w.

Was unter diesen Umständen zu thun, scheint mir klar auf der Hand zu liegen. Wir brauchen ein zusammenfassendes Wort für das zähflüssige Gemenge, welches in keiner lebenden Zelle fehlen darf, im Gegensatz zu der Membran und dem Zellsaft, die sich als von secundärer Bedeutung erwiesen haben. Als ein solches Wort kann aber aus Gründen der Pietät und aus tausend praktischen Rücksichten nur das Wort Protoplasma in Betracht kommen. Erweitern wir den Umfang desselben etwas mehr, als das Mohl gethan hatte und schliessen auch den Zellkern mit ein, nachdem schon lange der Primordialschlauch Mohls seine Selbständigkeit hat aufgeben müssen. Es ist richtig und durchaus nothwendig die morphologischen Bestandtheile in der Zelle einzeln zu benennen und begrifflich voneinander zu trennen, aber alle sind dem Begriff Protoplasma zu subordiniren, nicht ihm coordinirt. Der seit langem eingebürgerte Gebrauch, diese einzelnen Differenzirungsproducte des Zellkörpers nach ihrer chemischen Constitution, nach einem hervorragenden oder besonders in die Augen fallenden Componenten, oder nach der hauptsächlichsten Function zu benennen, wie die Worte Chlorophyllkörper, Stärkebildner, Gerbstoff-, Oel-, Harztropfen u. s. w. beweisen, hat ohne Zweifel das Richtige getroffen. Zu wünschen wäre nur, dass bei der Auswahl der Bezeichnungen allgemein auch mehr auf den Aggregatzustand der betreffenden Gebilde Rücksicht genommen würde. Das noch so vielfach gebrauchte Wort Chlorophyllkörner statt Chlorophyllkörper ist genau ebenso treffend, wie es das bekannte Hartig'sche Wort „Gerbmehl" für die flüssigen Gerbstofftropfen war.

1) Vergl. auch Reinke, Untersuchungen aus dem botan. Laborat. d. Univ. Göttingen. Heft II. 1881. S. 93.

Müssen wir uns so, den neueren von Seiten einer Anzahl von Histologen ausgehenden Bestrebungen entgegen, bei der Definition des Protoplasma und der Werthbestimmung seiner näheren morphologischen und chemischen Bestandtheile auf den allein massgebenden Standpunkt des physiologischen Chemikers stellen, so können wir uns auch weiterhin, wie sich aus dem Vorstehenden schon zur Genüge ergibt, nicht einverstanden erklären mit einer von einigen Forschern versuchten Definition des Begriffes „organisirt". Die besonders von Nägeli und Pfeffer dafür gegebenen Definitionen stehen mit den hier entwickelten Anschauungen in unvereinbarem Widerspruch, sodass eine Auseinandersetzung auch hierüber an dieser Stelle nicht umgangen werden darf. Die beiden Forscher legen bei der Definition dieses Begriffes den Hauptnachdruck auf den molecularen Bau der organisirten Substanzen.

Nach Nägeli ist für die organisirten Substanzen die eigenthümliche Anordnung der Micellen und ihrer Wasserhüllen charakteristisch, nach Pfeffer[1]) ist organisirt identisch mit begrenzt quellungsfähig, darum ist nach diesem Forscher das Acrylcolloid ein organisirter Körper und sind Quittenschleim und arabisches Gummi verdünntem Alkohol gegenüber organisirte, Wasser gegenüber aber unorganisirte Substanzen, da sie sich in ihm vollständig lösen. Schon Strasburger[2]) hat sich gegen diese Definitionen ausgesprochen, nach ihm sind die organisirten Substanzen Colloide, aber nicht alle Colloide sind darum organisirte Substanzen.

Der Versuch, die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der organischen Systeme anderen mechanischen Systemen gegenüber in ihrem molecularen Bau finden zu wollen, muss nach allem Vorhergehenden als ein wenig glücklicher bezeichnet werden. Darin unterscheiden sie sich nicht von jedem anderen nicht lebenden System.

So wichtig und unbedingt nothwendig auch die begrenzte Quellungsfähigkeit für die Möglichkeit und den Bestand organischen Lebens überhaupt ist, so müssen wir doch Strasburger durchaus beistimmen, wenn er die von Pfeffer versuchte Identification der beiden Begriffe „organisirt" und „begrenzt quellungsfähig" für unzulässig erklärt. Schon Nägeli hat auf die Analogien hingewiesen, welche zwischen dem Vorgange der Lösung und der Quellung bestehen. Beides sind in der That wesentlich identische Vorgänge, mit dem Unterschiede nur, dass bei quellbaren Substanzen das erhaltene Product fest ist. Wie Wasser Salze löst, so lösen quellbare Körper Wasser und andere Flüssigkeiten, beides in begrenztem Masse, abhängig von der Natur der Substanzen, der Gegenwart anderer Stoffe, der Temperatur, dem Druck.[3]) Beide,

1) Pflanzenphysiol. I. S. 13. 2) Zellhäute. S. 218.
3) Man vergl. auch Sachs, Vorlesungen. S. 264.

Quellungen und Lösungen, sind mit Temperatur- und Volumänderungen verbunden, bei beiden nimmt die Intensität der die Mischung bedingenden Kräfte ab, mit den schon vereinigten Mengen, so dass zuletzt ein Grenzzustand erreicht wird, wo Sättigung eingetreten ist. Gequollene Körper können sich dem flüssigen, Lösungen dem festen Zustande nähern. Auch von zwei Flüssigkeiten, die miteinander in Berührung stehen, dürfen wir also sagen, dass sie miteinander „quellen" können, sobald sie nur in begrenztem Masse miteinander mischbar sind, wie Oel mit Alkohol, Aether mit Wasser u. s. w.

Wir werden anzunehmen haben, dass in den gequollenen Gemengen, ebenso wie in den Lösungen die Moleküle resp. die etwa anzunehmenden Molekülaggregate in wesentlich gleichmässiger Weise durch die Masse vertheilt sind. Aber es ist für das Verständniss der uns hier und in dem Folgenden interessirenden Fragen nicht nothwendig, auf diese subtilen Verhältnisse, die ja noch so wenig sicher erforscht sind, näher einzugehen. Es kann genügen hervorzuheben, dass wir andere, als von den Physikern und Chemikern entwickelte und weiterhin zu entwickelnde Vorstellungen über die molekularen Bauverhältnisse auch für die mechanischen Probleme der biologischen Wissenschaften nicht brauchen. Das Wesen des Organismus, das was ihn so bestimmt von jedem anorganischen leblosen mechanischen System unterscheidet, kann nicht in einer besonderen molekularen Structur gefunden werden, und es ist ganz aussichtslos auf Grundlage einer solchen zu einem näheren Verständniss der Lebensvorgänge vordringen zu wollen. Was das lebende Substrat der Organismen, das Protoplasma, charakterisirt, ist nicht ein einzelner Stoff und seine physikalisch-chemischen Eigenschaften, nicht das Eiweiss, obwohl Eiweisskörper bisher nur im Protoplasma vorgebildet gefunden und aus ihm dargestellt sind; es ist auch nicht die Art und Weise wie sein Bau, seine Organisation, zu Stande gekommen ist, denn darin unterscheidet es sich principiell nicht von irgend einer beliebigen Emulsion. Charakteristisch für das lebende Protoplasma ist vielmehr der ihm eigenthümliche Verlauf seines gesammten Stoff- und Kraftwechsels. Das ist wesentlich für dasselbe, dass es durch seinen Chemismus unter dem Einfluss der aus der Aussenwelt einwirkenden Energien und Substanzen sich erhält, wächst und fortpflanzt und dass durch diesen Chemismus fortwährend diejenigen Molekular- und Massenkräfte in Freiheit gesetzt werden, die nach Qualität und Quantität geeignet sind den Organismus in zweckmässiger Weise seine Form ausgestalten und zweckmässige Bewegungen ausführen zu lassen. Das leistet kein anderes mechanisches System, mag es auf natürlichem Wege entstanden, oder künstlich durch Menschenhände geschaffen sein.

Wollen wir darum die Begriffe Protoplasma, Organismus, organisirt im Gegensatz zu unorganischen Systemen bestimmt und zweckmässig begrenzen, so sind sie auf das Ganze zu beziehen und nicht auf irgend einen seiner Theile. Es ist nicht zulässig einen einzelnen Chlorophyllkörper, ein Stärkekorn, die Zellhaut u. s. w. organisirt zu nennen, weil wir sie künstlich nicht oder noch nicht darstellen können, im Gegensatz zu künstlich darstellbaren Eiweisskrystallen. Damit verkennt man gerade das Wesen der Begriffe Organismus, organisirt, die nur ein Ganzes bezeichnen können, nicht einen einzelnen herausgelösten und dadurch dem Untergang geweihten Theil desselben. Sind aber isolirte Theile eines Organismus auch nachher fähig sich in der für diesen charakteristischen Weise weiter zu entwickeln, so sind sie natürlich auch weiterhin als Organismen, als organisirt zu betrachten, so Stecklinge aller Art, oder auch isolirte aber entwicklungsfähige Theilstücke der Protoplasmakörper von Vaucherien, Bryopsis u. s. w.

Wie unter diesen Umständen die Thatsachen der Vererbung und Anpassung mechanisch zu verstehen sind, kann für den klar und consequent denkenden Naturforscher einem Zweifel nicht unterliegen. Ebenso wie der Zusammenhang der einzelnen Entwicklungsstadien ein und desselben Individuums, kann auch der Zusammenhang der Generationen und von Generationsreihen nur durch die sie aufbauenden Substanzen, indem diese nach chemischen Gesetzen successive auseinander hervorgehen, vermittelt werden. Die Vererbung ist also zunächst nur dadurch möglich, dass im Chemismus des Organismus in regelmässiger Periodicität dieselben Substanzen und Substanzgemische nach Qualität und Quantität wieder erzeugt werden. Aber unseren früheren Ausführungen entsprechend genügt das nicht ganz allein. Denn wir sahen, dass für die bestimmte Organisation des Plasmakörpers auch die allmähliche Entwicklung desselben von grosser Bedeutung ist, indem für eine nach Qualität und Quantität ganz bestimmte Zusammensetzung des Plasmakörpers sehr wohl verschiedene stabile Organisationsverhältnisse möglich sind, je nachdem die Differenzirung der Organe aus Gründen des voraufgegangenen Chemismus die eine oder die andere Reihenfolge eingeschlagen hat. Die Substanzen in einem pflanzlichen oder thierischen Ei würden sich voraussichtlich in ganz anderer Weise untereinander vertheilen, als das thatsächlich der Fall ist, wenn man die vorher getrennten Ingredienzien gleichzeitig miteinander mischen wollte. Es ist dabei natürlich vorausgesetzt, dass chemische Umsetzungen jeder Art, welche in der Zwischenzeit Zusammensetzungsänderungen hervorzubringen im Stande waren, ausgeschlossen bleiben.

Dass die einzelnen Substanzen im Körper des Eies und des Spermatoids für die Mechanik der Vererbung nicht von gleichem Werthe

sind, unterliegt keinem Zweifel. Aber die physiologische Chemie wird noch nicht sobald daran denken können, sich die Frage nach dem Werth der bei den Vorgängen der Befruchtung und Vererbung in Action tretenden Substanzen in ernsthafter Weise zu stellen, da sie vorläufig noch sehr weit davon entfernt ist, auch nur die thatsächlichen Verhältnisse in qualitativer und quantitativer Hinsicht exact feststellen zu können. Was aber andererseits in Bezug auf diese Fragen auf Grundlage anatomischer und histologischer Befunde ermittelt werden kann und ermittelt worden ist, ist doch viel zu problematischer und schwankender Natur, entbehrt viel zu sehr jeder exacten wissenschaftlichen Grundlage, als dass es gerathen und erfolgverheissend sein könnte, darauf in ausgedehnterem Masse weiter zu bauen. Es ist freilich leicht verständlich, dass der Wunsch, sich über eine Reihe der wichtigsten biologischen Probleme in zusammenhängender und systematischer Weise Klarheit zu verschaffen in den letzten Jahren trotz alledem zu so vielen Versuchen nach dieser Richtung geführt hat.

Es wird kaum nöthig sein, nach dem Vorstehenden noch darauf hinzuweisen, wie gänzlich unwissenschaftlich solche Vorstellungen über die Mechanik der Vererbungsvorgänge sind, wie sie etwa Darwin[1]) in seiner bekannten und noch heute vielfach angeführten Theorie der Pangenesis entwickelt hat, darauf hat schon Sachs[2]) vor einigen Jahren nachdrücklich genug hingewiesen.

Im Uebrigen können wir die thatsächlich vorhandene Rhythmik der Lebensvorgänge im wesentlichen nur als eine Folge von Anpassungserscheinungen auffassen. Bei dem gegenwärtigen Stande unserer Einsicht in die chemische Mechanik des Organismus haben wir wenigstens keinen Grund anzunehmen, dass irgend eine der allgemeinen Thatsachen der Morphologie und Entwicklungsgeschichte der organischen Formen etwa in der Weise durch die chemische Natur des Substrates bedingt sei, wie etwa die Würfelform unfehlbar dem Chlornatrium zugeordnet ist. Und es ist auch nicht zu vermuthen, dass, wenn wir jemals dahin gelangen sollten, volle Einsicht in das Detail des physikalischen und chemischen Getriebes auch nur des einfachsten Organismus zu erlangen, an dieser Auffassung etwas würde geändert werden müssen. Wenn auch Stoff und Form, Stoffwandlung und Entwicklungsrhythmik unmittelbar mechanisch voneinander abhängen und sich gegenseitig vollständig bedingen, so ist doch bei der Complicirtheit der Zusammensetzung der protoplasmatischen Substanz und ihrer Plasticität jede Analogisirung mit der starren Gesetzmässigkeit, welche die Krystallgestalten beherrscht, von der Hand zu weisen.

---

1) Das Variiren der Thiere und Pflanzen, übersetzt von Carus. 1868. Bd. 2. S. 491. 2) Botan. Zeitung 1880. S. 609.

Die Zahl der wahrhaft morphologischen Charaktere in Bezug auf Organisation und Entwicklungsrhythmik, d. h. solcher, die weder als von der Art noch auch von irgend einem der Vorfahren erworben aufzufassen sind, dürfte eine verschwindend geringe sein. Gewisse anatomische und histologische Thatsachen dürften allein hierher zu rechnen, im Uebrigen aber der formlose Zustand, oder die Tropfenform der Ausgangspunkt für die Entwicklung der Mannigfaltigkeit der organischen Gestalten gewesen sein.

DRITTES KAPITEL.

Die Formbildung und Ortsbewegung membranloser Plasmakörper. Innenbewegungen des Protoplasma.

Das Hinstreben zur Kugelform, welches membranlose Plasmamassen so häufig zeigen, ist mit Recht von Hofmeister[1]), Sachs[2]) u. A. als ein Beweis dafür aufgefasst worden, dass sich der Aggregatzustand des Protoplasma dem flüssigen wenigstens bis zu einem gewissen Grade nähere.

Das Bestreben der Flüssigkeiten Tropfen zu bilden, beruht bekanntlich auf dem Vorhandensein der Spannung, die in der flüssigen Oberfläche ihren Sitz hat. Diese Oberflächenspannung wird dadurch hervorgerufen, dass die der Oberfläche benachbarten Flüssigkeitsmoleküle von der Gesammtheit der übrigen Moleküle der Flüssigkeit stärker angezogen werden, als von den Molekülen des umgebenden Mediums, sie ist also gleich der Differenz zwischen der Cohäsion und Adhäsion der betreffenden Substanzen. Je nach den Einzelfällen von sehr verschiedener Grösse, wirkt sie wie ein elastisches Häutchen auf die inneren Flüssigkeitsmassen und bedingt, wenn nicht andere stärkere Kräfte dem entgegenwirken, die Abrundung derselben zur Kugelform, weil bei der Kugel der grösste Rauminhalt mit dem Minimum der Oberfläche gepaart ist.

Die Abrundung zur Kugelform zeigen bekanntlich aus angeschnittenen Schläuchen von Vaucheria, Bryopsis u. s. w. austretende Plasmamassen, die freigewordenen Sporen der Florideen, Dictyotaceen, die Oosphären der Oedogonieen, Fucaceen, Moose und Gefässcryptogamen u. s. w.

Mancher wird freilich mit Velten[3]) geneigt sein den Einwurf zu machen, dass die betreffenden Beispiele nicht beweisend seien. In

1) Pflanzenzelle. S. 69.

2) Experimentalphysiologie. S. 444 ff.

3) Sitzgsber. der Wien. Akad. d. Wiss. 73. 1. 1876. S. 131 ff.

dem Falle von Vaucheria und Bryopsis befinde sich das ausgetretene Protoplasma im Reizzustande und die weiteren Fälle von Abrundung im normalen Verlaufe der Lebensvorgänge seien als besondere Organisationserscheinungen aufzufassen und könnten darum ebenfalls nicht für Schlussfolgerungen über den Aggregatzustand des Protoplasma verwerthet werden.

Was nun den letzten Einwurf anbetrifft, so brauchen wir uns bei ihm nicht länger aufzuhalten, da es ja gerade unser Ziel ist die Organisationsvorgänge physikalisch zu erklären, hinsichtlich des ersteren kann aber hier ebenfalls kurz hingewiesen werden auf die im vorigen Kapitel gemachten Ausführungen über das, was unter Reiz und Reizzustand im Grunde bei physikalischer Auffassung zu verstehen ist, und die im Allgemeinen auch die Haltlosigkeit dieses Einwurfs darthun. Es soll damit indessen keineswegs behauptet werden, dass derartige aus den Schläuchen von Vaucheria und Bryopsis ausgetretene Plasmamassen durch den gewaltsamen Eingriff keine Modificationen erlitten, dass sie dadurch nicht etwa eine „flüssigere" Consistenz angenommen hätten. Nur wenn sie sich später desorganisirten, wäre der betreffende Einwurf begründet, da man es dann nicht mehr mit lebenden und lebensfähigen, sondern mit absterbenden Plasmamassen zu thun hätte. Das ist aber nicht der Fall, sowohl bei Vaucheria, wie bei Bryopsis sind bekanntlich etwas grössere ausgetretene Plasmamassen im Stande sich mit Membran zu umgeben und weiter zu leben.

Können wir daher mit Recht in der Abrundung plasmatischer Massen zur Kugelform eine Andeutung ihres flüssigen Aggregatzustandes sehen, so finden wir einen weiteren schönen Beweis dafür auch in dem Verhalten, welches lang gestreckte, cylindrische Plasmakörper, wie sie sich z. B. in den Wurzelhaaren von Wasserpflanzen (Hydrocharis, Trianea u. s. w.), dann bei Algen wie Vaucheria, Bryopsis u. s. w. so schön entwickelt finden, zeigen, wenn man Zuckerlösung, verdünntes Glycerin u. s. w. vorsichtig auf sie einwirken lässt. Schon Hofmeister[1]) hat gezeigt, dass in solchen Fällen der von der Membran sich abhebende cylindrische Plasmaschlauch in mehrere Abschnitte zerfällt, die sich allmählich vollständig voneinander isoliren und zu Kugeln abrunden. Nägeli[2]) hat schon früher Aehnliches für den contrahirten Zellinhalt von Spirogyra gefunden und abgebildet.

Verfolgt man nun diese Vorgänge eingehender, so zeigt sich, dass hierbei das zerfallende Protoplasma sich ganz genau so verhält, wie eine unter entsprechenden Verhältnissen sich befindende cylindrische Flüssigkeitsmasse.

---

1) Lehre von der Pflanzenzelle. S. 71.

2) Pflanzenphysiol. Untersuchungen. Taf. III, Fig. 10.

Die betreffenden Erscheinungen sind von Plateau[1]) eingehender studirt und vollständig erklärt worden.

Wenn Flüssigkeitsmassen, welche unter der alleinigen Wirkung der Oberflächenspannung stehend — also der Wirkung der Schwerkraft etwa durch Suspension in einer anderen Flüssigkeit entzogen — Kugelform angenommen haben, durch zwei an entgegengesetzten Polen angreifende Kräfte veranlasst werden ihre Oberfläche zu vergrössern und die Kugelgestalt aufzugeben, so können dabei je nach den Umständen eine Reihe mathematisch genau bestimmbarer Gleichgewichtsfiguren auftreten, die von Plateau[2]) und später vollständiger von Terquem[3]) dargestellt und ihren Eigenschaften nach näher discutirt worden sind. Eine von diesen so zu erzeugenden Figuren ist auch der Cylinder, der uns hier allein interessirt.

Berührt man eine flüssige suspendirte Kugel, etwa von Oel in einem Gemisch von Alkohol und Wasser von gleichem spec. Gew. an zwei entgegengesetzten Punkten mit zwei kreisförmigen Platten oder Ringen, welche von dem Oel benetzt werden und entfernt dieselben dann voneinander, so nimmt bei einer bestimmten Entfernung der Platten voneinander die Flüssigkeitsmasse Cylinderform an, nämlich dann, wenn der Inhalt der ursprünglichen Oelkugel gleich dem Inhalt des cylindrischen Raumes zwischen den beiden Platten geworden ist. Dieser Cylinder kann aber für längere Dauer nur dann erhalten werden, wenn seine Länge seinen Umfang, also $2r\pi$ (wenn r der Radius), nicht überschreitet. Plateau hat auf experimentellem und theoretischem Wege gezeigt, dass jede auf irgend eine Weise erzeugte cylindrische Flüssigkeitsmasse ein labiles Gebilde wird, sobald ihre Länge grösser wird als $2r\pi$. In dem letzteren Falle muss sie unter dem Einfluss der Oberflächenspannung mehr oder weniger bald andere Formen annehmen, es entstehen in bestimmten, ziemlich gleichen Entfernungen voneinander Einschnürungen und Ausbuchtungen und schliesslich so viel Kugeln als die Länge des Cylinders das Vielfache von $2r\pi$ betrug.

Der Grund dieser Erscheinung ist der, dass in dem letzteren Falle alle aus dem Cylinder nach und nach entstehenden Formen eine kleinere Oberfläche haben, als der ursprüngliche Cylinder, wie sich mathematisch beweisen lässt. Die Gesammtsumme der Oberflächenspannung nimmt dabei also ab und die dabei verschwundene Energiemenge ist verwandt worden, um die während der Umlagerungsvorgänge stattfindenden Massenbewegungen zu ermöglichen.

Wenn man die theoretischen Schlussfolgerungen auf experimentellem Wege zu verificiren versucht, so zeigt sich, dass in Wirklichkeit solche

---

1) Statique des liquides. 1873. II. § 359 ff. u. § 397 ff.
2) Ebenda I. § 40 ff. 3) Comptes rend. 92. 1881. S. 407—409.

Flüssigkeitscylinder erst dann in einzelne Abschnitte zerfallen, wenn sie die theoretisch zulässige Länge von $2r\pi$ mehr oder weniger weit überschritten haben und zwar aus dem Grunde, weil die in Bewegung zu setzenden Flüssigkeitsmassen je nach dem spec. Gew., ihrer Zähigkeit und den übrigen physikalischen Eigenschaften der Umlagerung einen mehr oder weniger bedeutenden Widerstand entgegensetzen, die Intensität der Oberflächenspannung aber bekanntlich ebenfalls nach den Einzelfällen eine sehr verschiedene ist. Darum geht in der Praxis die Stabilität von Flüssigkeitscylindern oft erst bei erheblich grösseren Längen als $2r\pi$ verloren. Die für die Umlagerung zur Disposition tretenden Kräfte werden nämlich um so grösser, je mehr die Länge den Werth $2r\pi$ übertrifft, was begreiflich, da die Masse je mehr sie sich in die Länge streckt, um so mehr sich damit von der Kugelform entfernt. So fand Plateau und später Worthington[1]), dass ein Quecksilbercylinder erst labil wurde, als die Länge $6.1 \times 2r$, statt $3.14 \times 2r$ geworden war. Für zähere Flüssigkeiten würden sich ohne Zweifel noch höhere Werthe für die Stabilitätsgrenze bei praktischen Versuchen ergeben.

Ein derartiger, seiner übergrossen Länge wegen labiler Flüssigkeitscylinder bekommt nun beim Beginn der Zerfällung in den theoretischen Forderungen mehr oder weniger genau entsprechenden ziemlich gleichen Abständen Einschnürungen, während die dazwischen liegenden Abschnitte anschwellen. So nimmt er Perlschnurform an. Indem die dünneren Partien sich mehr und mehr verengern, tritt zuletzt ein Stadium ein, wo die einzelnen Abschnitte fast zur Kugel abgerundet sind, die dünneren Partien zwischen ihnen sich aber zu cylindrischen Verbindungsfäden umgeformt haben. Diese letzteren reissen nun weiterhin nicht einfach durch, sondern schwellen wieder in ihrer Mitte an und bilden einen secundären Tropfen, sobald sie bei ihrer Verlängerung das Maximum der für ihren Radius stabilen Länge überschreiten. So bilden sich zwischen den zuerst entstandenen Haupttropfen kleinere secundäre in Einzahl. Dünne Fädchen verbinden die ganze Tropfenreihe. Auch können sie sich weiterhin zu noch kleineren tertiären Tröpfchen umgestalten, und so ferner.

Der Grund für das Auftreten dieser secundären und tertiären Tröpfchen liegt nach Plateau[2]) darin, dass, wenn die verbindenden Flüssigkeitsfäden nach entsprechender Verdünnung eine gewisse Länge erreicht haben, infolge der Reibungswiderstände die Flüssigkeit aus den mittleren Theilen nicht mehr rasch genug abfliessen kann. So verdünnen sich die den Kugeln benachbarten Partien in stärkerem Grade, der

1) Proceed. Roy. Soc. 30. 1869—70. p. 49.
2) A. a. O. II. § 375 ff.

anfangs in der Mitte eingeschnürte Faden nimmt Cylinderform an, um bald darauf in der Mitte eine Anschwellung auszubilden, welche zum secundären, resp. tertiären Tropfen wird.

Auch an mikroskopischen Objecten kann man diese Vorgänge oft sehr schön studiren. Zerquetscht man das Fleisch der reifen Beere von Viscum album auf dem Objectträger, so finden sich in der Masse zahlreiche langgestreckte, mehr oder weniger genau cylindrische Fäden einer schleimigen, stark lichtbrechenden Substanz. Diese mikroskopischen Fäden zerfällen sich nun langsam in der beschriebenen Weise derart, dass man die einzelnen Stadien des Zerfalls sehr bequem verfolgen kann, während dies bei weniger zähen Flüssigkeiten darum Schwierigkeiten macht, weil die ganzen Umlagerungen sehr schwach erfolgen.

Die Zerfällung der oben angeführten, von den Zellmembranen durch Glycerin oder Zuckerlösung abgehobenen cylindrischen Plasmaschläuche in eine Anzahl von Abschnitten findet nun genau in derselben Weise, wie bei leblosen Flüssigkeiten und Gemischen statt. Ich studirte in dieser Hinsicht eingehender zunächst die Wurzelhaare von Trianea bogotensis. Das mit stark verdünntem Glycerin contrahirte Plasma zeigte aufs schönste die einzelnen Stadien der Umbildung, wie dies auf Fig. 11, Taf. I dargestellt ist. Natürlich kommen vielfache Unregelmässigkeiten vor, bedingt durch das ungleichmässige Abheben des Schlauches von der Wand, die nicht vollkommen gleichmässige Consistenz und Dicke desselben u. s. w. Dabei nimmt die Rotationsbewegung wie das auch Hofmeister bei Hydrocharis fand, zunächst ihren Fortgang. Später zerreissen die dünnen Fäden gewöhnlich an einer Stelle und der ganze Rest wird dann in eine der nächstliegenden grösseren Kugeln eingezogen. Auch bei Bryopsis gelang es mir öfter dieselben Umbildungsvorgänge aufs schönste zu beobachten, besonders an längeren cylindrischen und farblosen Plasmafäden, welche sich zunächst zwischen den grösseren Abschnitten des zerfallenden contrahirten Plasmakörpers ausgezogen hatten.

Als sehr ungünstig für die vorliegenden Versuche erwies sich dagegen das Plasma von Vaucheria. Es scheint zu wenig flüssig zu sein und auch zu geringe Zähigkeit zu besitzen. Ein vollständiger Zerfall der einzelnen Abschnitte des Plasmakörpers fand in der Regel nicht statt, auch die Bildung secundärer Kugeln wurde nicht beobachtet.

Man wird nun freilich auch hier den Einwurf zu machen geneigt sein, dass das Protoplasma bei den beschriebenen Versuchen sich im gereizten Zustande befunden habe, die Ergebnisse deshalb für den normalen Zustand nichts beweisen könnten. Aber ganz entsprechende Umlagerungserscheinungen cylindrischer, oder annähernd diese Form besitzender Plasmamassen kommen im normalen Verlauf des Lebens ohne

Zweifel gar nicht selten vor, obwohl sie bisher nur wenig beachtet sind. Nur kommt es in der Regel nicht zu einer vollständigen Trennung der einzelnen Abschnitte. Von Cienkowski[1]) sind schon vor längerer Zeit hierher gehörige Formbildungen abgebildet, so erscheint z. B. Monas Amyli im Amoebenstadium oft in Form eines aus einer Anzahl spindelförmiger Stücke bestehenden Fadens. Auf Taf. XVIII, Fig. 9 hat derselbe Forscher auch eine entsprechende Figur von einem im Einziehen begriffenen Plasmodiumast von Didymium serpula gegeben. Auch bei den langgestreckten Farbkörpern vieler Florideen treten häufig entsprechende Formen auf, wie wir in einem späteren Kapitel näher darlegen werden.

Die Ergebnisse der vorstehenden Ausführungen würden nun freilich allein nicht schwer zu Gunsten des Nachweises der flüssigen Natur des Protoplasmakörpers ins Gewicht fallen, wenn es nicht auch gelänge, den gesammten Kreis der so überaus zahlreichen und mannigfaltigen Gestaltbildungs- und Umbildungsvorgänge der Protoplasmakörper und ihrer Glieder als mit den Gesetzen der Hydromechanik in Uebereinstimmung und wenigstens in allen principiellen Punkten aus ihnen ableitbar nachzuweisen. Sie sind es ja gerade, welche die Forschung bisher immer wieder zu der Ansicht brachten, dass das Protoplasma unmöglich eine Flüssigkeit sein könne.

Fast ganz allgemein kommt dem lebenden Protoplasma, mag es nackt sein oder in einem Cellulosegehäuse stecken, die Fähigkeit zu amöboid-wechselnde Formen anzunehmen und in amöboider Weise sich zu bewegen.

Beides sind nun keineswegs dem Protoplasma eigenthümliche und in der Natur einzig dastehende Erscheinungen, sondern jede Flüssigkeit und jedes flüssige Gemisch zeigt unter passend gewählten Umständen genau das gleiche Verhalten. Es sind die Ausbreitungserscheinungen, welche Flüssigkeiten in den Berührungsflächen von festen und flüssigen Körpern mit flüssigen und luftförmigen zeigen, die unter dieselbe Rubrik fallen, wie die Amöboidbewegungen des lebenden Protoplasma. Die Amöben und amöboiden Plasmakörper kriechen bekanntlich, d. h. sie bewegen sich an der Grenzfläche zweier Medien, die Bewegung findet also in der Beziehung unter denselben Umständen statt, wie die Ausbreitungserscheinungen.

Die Ausbreitungserscheinungen sind seit langen Zeiten bekannt und vielfach studirt, besonders haben die merkwürdigen Vorgänge bei der Ausbreitung fetter und ätherischer Oele auf wässrigen und anderen Flüssigkeiten schon vor langer Zeit die Aufmerksamkeit zahlreicher Beob-

1) Pringsh. Jahrb. Bd. 3. Taf. 19. Fig. 7, 8.

achter auf sich gezogen. Aber erst neuere Untersuchungen, besonders die von Quincke[1]) und van der Mensbrugghe[2]) haben uns die volle mechanische Erklärung derselben gegeben.

Es darf wohl vorausgesetzt werden, dass das rein Aeusserliche und Thatsächliche der hier in Betracht kommenden Erscheinungen jedem Leser aus der täglichen Erfahrung hinlänglich bekannt sein wird, sodass es nicht nöthig sein wird, auf Detailbeschreibung von Einzelfällen näher einzugehen. Es wird jedem leicht möglich sein, sich durch wenige einfache Versuche die nöthige Anschauung zu verschaffen. Im Uebrigen mag auch hier auf die zahlreichen diesbezüglichen Publikationen von Tomlinson[3]) hingewiesen werden, in denen über eine Menge von Detailuntersuchungen berichtet und auch eine grössere Anzahl von Abbildungen mitgetheilt ist.

Die Gesetze, denen die Ausbreitungsvorgänge gehorchen, sind nun folgende: Sind drei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten gegeben, die miteinander in Berührung sind, so erhalten wir im Allgemeinen drei Berührungsflächen, die sich längs einer Linie schneiden müssen. In jeder der Berührungsflächen herrscht eine Oberflächenspannung von bestimmter Grösse, die wir mit Quincke bezüglich als α_{12}, α_{13} und α_{23} bezeichnen wollen, wobei die Indices 12, 13, 23 sich auf die drei Flüssigkeiten 1, 2, 3 beziehen, sodass α_{12} die Oberflächenspannung in der Berührungsebene von den Flüssigkeiten 1 und 2 bezeichnet u. s. w.

Auf jeden Punkt der gemeinsamen Berührungslinie der drei Flüssigkeiten wirken nun die drei Spannungen in gleicher Weise ein, sodass derselbe nur in Ruhe bleiben kann, wenn sie sich im Gleichgewicht befinden, d. h. wenn die Resultante zweier immer gleich und entgegengesetzt gerichtet der dritten Kraft ist. Sind α_{13}, α_{23} und α_{31} in Fig. 12, Taf. I die Richtungen der Tangenten im Schnittpunkte O der drei Berührungsebenen der drei Flüssigkeiten, und ϑ_3, ϑ_2, ϑ_1 die von ihnen eingeschlossenen Winkel, so muss im Falle des Gleichgewichts

$$\frac{\alpha_{12}}{\sin \vartheta_3} = \frac{\alpha_{31}}{\sin \vartheta_2} = \frac{\alpha_{23}}{\sin \vartheta_1} \text{ sein.}$$

Construirt man ein Dreieck, dessen Seiten den drei Oberflächenspannungen proportional sind, so werden die Aussenwinkel desselben gleich den Winkeln ϑ_1, ϑ_2 und ϑ_3 (Fig. 13, Taf. I).

Sind nun z. B. zwei in einem Gefäss übereinander geschichtete Flüssigkeiten gegeben und bringen wir einen Tropfen einer Flüssigkeit 3 in die Berührungsfläche der beiden, so wird je nach dem Verhältniss, in welchem die drei Oberflächenspannungen zueinander stehen,

1) Poggend. Annalen 139. 1870. S. 37 ff.

2) Mém. couronn. et mém. de sav. étrang. de Bruxelles. Bd. XXXIV, 1870 und Bd. XXXVII, 1873.

3) Philos. Magazine. Bd. 8, 10, 22, 26, 27, 28, 33, 36, 38, 39.

der Tropfen der Flüssigkeit 3 verschiedene Formen annehmen müssen. Die Grösse jedes der drei Winkel ϑ_1, ϑ_2, ϑ_3 wird zwischen O und 2R liegen können, halten sich alle drei von diesen Grenzwerthen ziemlich entfernt, so wird der Tropfen von 3 etwa die Formen I oder II in Fig. 14, Taf. I annehmen. Je nach der Grösse von ϑ_1 und ϑ_2, oder nach dem Verhältniss von α_{23} und α_{13} zu α_{12} wird der Tropfen 3 seine stärkste Wölbung gegen Flüssigkeit 1 oder 2 richten müssen.

ϑ_3 wird nun um so kleiner, je mehr sich die Summe von $\alpha_{13} + \alpha_{23}$ der Grösse α_{12} nähert. Tritt Gleichheit ein, so muss $\vartheta_3 = 0$ werden, das Dreieck in Fig. 13 ist nicht mehr möglich, die Flüssigkeit 3 wird zwischen 1 und 2 zu einer dünnen Lamelle auseinandergezogen. Dasselbe erfolgt mit steigender Intensität, je mehr $\alpha_{12} > \alpha_{13} + \alpha_{23}$ wird.

Wenn aber andererseits $\alpha_{13} \gtreqless \alpha_{12} + \alpha_{23}$, so breitet sich Flüssigkeit 2 zwischen 1 und 3 aus, d. h. der Tropfen 3 wird von 2 umflossen und von 1 ganz abgesperrt. Ist aber $\alpha_{23} \gtreqless \alpha_{13} + \alpha_{12}$, so breitet sich 1 zwischen 2 und 3 aus. In beiden Fällen nimmt natürlich die Flüssigkeit 3 vollkommene Kugelgestalt innerhalb der Flüssigkeiten 1 oder 2 an, vorausgesetzt, dass sie in diesen beiden Flüssigkeiten schwebt und der Wirkung der Schwerkraft also nicht unterworfen ist.

Die Anordnung der drei Flüssigkeiten erfolgt allgemein immer so, dass die Gesammtsumme der entstehenden Oberflächenspannungen zu einem Minimum wird. Nur in den beiden zuletzt discutirten Specialfällen wird dabei aber auch die Summe der Oberflächen selber zu einem Minimum.

Bringt man eine Flüssigkeit auf die freie, d. h. an Luft oder an ein anderes Gas grenzende Oberfläche einer zweiten Flüssigkeit, so bleiben die Verhältnisse im wesentlichen unverändert. Als Flüssigkeit 1 haben wir dann das Gas zu betrachten. Auch dann, wenn eine der Substanzen, etwa 2 ein fester Körper ist, ändern sich die Verhältnisse im Princip nicht. Je nachdem $\alpha_{23} \gtreqless \alpha_{12} + \alpha_{13}$ ist, findet keine Benetzung, Benetzung oder Ausbreitung der Flüssigkeit 3 auf dem festen Körper 2 statt, wobei in den letzteren Fällen die Substanz 1, mag sie flüssig oder gasförmig sein, verdrängt werden muss. Die Ausbreitung geht mehr oder weniger weit, je nach dem Verhältniss, in welchem die drei Oberflächenspannungen zueinander stehen. Die Grösse der letzteren variirt aber in sehr empfindlicher Weise mit der chemischen Zusammensetzung und der Temperatur der betreffenden Substanzen. Ziemlich gleichmässige Ausbreitung nach allen Seiten, wie wir sie bei Flüssigkeiten erhalten, wenn die Ausbreitung der Tropfen nicht sehr weit geht und für genügende Reinheit der Substanzen und Oberflächen Sorge getragen ist, wobei dann also der ausgebreitete Tropfen Linsenform annimmt, findet sich nun bei lebenden Plasmakörpern nicht selten. Die

Sporen vieler rother, grüner und brauner Algen, die scheibenförmig auskeimen, wenn sie sich festgesetzt haben (Erythrotrichia-Arten, Nemastoma, Chylocladien; Chaetopeltis u. s. w.) zeigen diese Gestalt. Besonders schön ist eine solche gleichmässige Ausbreitung auch zu beobachten bei den an Stärkekörner sich ansetzenden Schwärmern von Monas amyli. Wie Cienkowski[1]) schon vor längerer Zeit beschrieben und abgebildet hat, besitzen die zur Ruhe gekommenen Schwärmer zunächst die Form ziemlich hoher gewölbter Tröpfchen, sie flachen sich aber unter Ausbreitung mehr und mehr ab und können zuletzt das Stärkekorn vollständig umfliessen und so in sich aufnehmen. Haben sich mehrere Schwärmer auf einem Korn festgesetzt, so vereinigen sich ihre Plasmakörper bei der Ausbreitung miteinander.

Diese wenigen Beispiele mögen hier genügen. Die regelmässige Ausbreitung plasmatischer Massen ist, wenn auch öfter vorkommend, doch nicht das gewöhnlichere Verhalten, meist geben Unregelmässigkeiten in der Stärke der Ausbreitung dem Rande einen buchtigen Verlauf, dem Ganzen also „amöboide" Gestalt. Dasselbe beobachtet man ganz gewöhnlich auch an den sich ausbreitenden Flüssigkeitstropfen, es findet seine Erklärung ohne Schwierigkeiten in der Mechanik der Ausbreitungsvorgänge.

Denn wie wir sahen, hängt der Grad der Ausbreitung von der Grösse des entstehenden Randwinkels, diese letztere aber ganz von der chemischen Natur (wenn wir von dem Einfluss, den Temperaturdifferenzen ausüben zunächst absehen) der in Berührung befindlichen Substanzen ab. Eine vollständig gleichmässige Ausbreitung kann darum nur dann zu Stande kommen, wenn die angewandten Flüssigkeiten absolut homogen, die Oberflächen vollkommen rein sind. Wie ausserordentlich empfindlich die hier massgebenden Kräfte sind, wie geringe Beimischungen und Verunreinigungen schon genügen, um die Erscheinungen wesentlich zu modificiren, geht aus den gesammten Untersuchungen von Quincke und Anderen zur Genüge hervor.

So zeigen denn sich ausbreitende leblose Flüssigkeiten fast immer, wenn nicht mit der grössten Sorgfalt operirt wird, amöboide Umrisse, wovon man sich an kleinen Wasser- oder Alkoholtropfen, die sich auf Glasplatten ausbreiten, leicht überzeugen kann, und wir dürfen uns darum nicht wundern, dass die so wenig homogenen Plasmatropfen in der grossen Mehrzahl der Fälle sich ebenso verhalten.

Die Keimscheiben zahlreicher Algen zeigen so normal gelappte Umrisse. So zunächst die vieler Phaeosporeen, deren Keimung ich in den Jahren 1879—81 in der zoologischen Station in Neapel verfolgte. Die Schwärmer dieser Formen verhalten sich beim Niedersetzen genau

1) Max Schultze's Archiv f. mikr. Anatomie. Bd. 1.

so, wie ich es für die geschlechtlich differenzirten Schwärmer von Ectocarpus siliculosus und Scytosiphon lomentarium an anderer Stelle [1]) genauer beschrieben habe. Die vordere Cilie setzt sich mit der Spitze irgendwo fest und wird dann allmählich in den Sporenkörper eingezogen. Ist das fast vollständig geschehen, so fliesst der Sporenkörper mehr oder weniger auseinander und bewegt sich zuweilen wie eine kleine Amöbe eine kurze Zeit auf dem Substrat hin. Die so entstehende Keimscheibe ist oft recht gross, so bei Castagnea polycarpa, bei welcher der Rand sofort in eine Anzahl ziemlich gleich grosser Lappen zerfällt. (Taf. II, 3, 4).

Auch die Schwärmer grüner Algen verhalten sich beim Niedersetzen ganz ähnlich. So bei Ulothrix zonata und Botrydium. Bei Ulothrix rundet sich der Körper der Schwärmspore zunächst etwas ab, während gleichzeitig die Cilien aufhören sich zu bewegen und ausgestreckt werden. Dann nimmt der Schwärmerkörper, aber in nicht sehr ausgeprägter Weise amöboide Umrisse an, die Cilien sind jetzt irgendwo seitlich inserirt. Hier sind sie noch kurze Zeit zu sehen, werden aber bald varicös, bilden Schlingen und werden zuletzt am Grunde abgeworfen, nicht eingezogen.

Bei Botrydium sind die ungeschlechtlichen Schwärmer langgestreckt oder länglich eiförmig, auch von unregelmässigerer Gestalt. Die 1—3 Chlorophyllkörper liegen in der Nähe des Vorderendes wandständig. Das hintere Ende ist farblos, ziemlich lang und enthält eine Anzahl stark lichtbrechender Körnchen (Fig. 5, Taf. II). Nachdem der Schwärmer sich eine Zeit lang lebhaft bewegt hat, werden die Schwingungen der Cilie langsamer, und der Sporenkörper setzt sich zuletzt irgendwo am Glase oder an der Flüssigkeitsoberfläche fest. Sofort beginnen langsame amöboide Gestaltveränderungen verbunden mit lebhaften Bewegungen im Innern des Plasmakörpers und einem Uebertritt der Chlorophyllkörper in die inneren Regionen. Auch eine oft ziemlich beträchtliche Volumverminderung des Sporenkörpers tritt dabei ein. Das langsame Umherkriechen als Amöbe kann mehrere Minuten dauern, die Cilie ist an einer Stelle seitlich inserirt und verkürzt sich allmählich mehr und mehr. Zu bemerken ist noch, dass bei Beginn der amöboiden Beweglichkeit das Hinterende gewöhnlich den Anfang macht und voraufgeht.

Zuletzt rundet sich der Körper mehr ab, die Formänderungen erfolgen langsamer, nur von Zeit zu Zeit tritt an einer Stelle ein Wulst auf, der bald wieder eingezogen wird. Endlich erfolgt definitive Abrundung, die Chlorophyllkörper werden wieder wandständig und es wird eine Membranlamelle ausgeschieden.

Vom Beginn der Amöboidbewegung bis zur definitiven Abrundung

---

1) Mitth. der zool. Station zu Neapel. Bd. 2. 1881.

verflossen in einigen Fällen etwa 15 Minuten. Einige Male lösten sich einige Schwärmer, nachdem sie längere Zeit als Amöben umhergekrochen waren, wieder vom Substrat ab, wurden wieder prall und begannen wieder zu schwärmen. Ein paar Mal, wo es mir gelang dieselben zu verfolgen, zeigte sich jedoch, dass die Amöbenbewegung sehr bald wieder aufgenommen wurde.

Im Uebrigen ist neuerdings auch von de Bary[1]) und von Zopf[2]) auf das Vorkommen von Amöboidbewegungen beim Niedersetzen der Schwärmer hingewiesen worden. Nach de Bary kriechen viele Chytridiaceen-Schwärmer vor der Keimung nach Amöbenart eine Zeit lang umher und Zopf hat dasselbe bei den Schwärmern von Protozoen und niederen Saprolegnien beobachtet.

Für die Schwärmer der Mycetozoen ist dieser Uebergang in das Amöbenstadium schon seit langer Zeit bekannt.

Auf die Bedeutung dieser hiernach wohl allgemein verbreiteten Erscheinung kommen wir weiter unten wieder zurück.

Bei den einfachen Amöben ist die Ausbreitung an einem, dem vorderen Pole am stärksten, am entgegengesetzten hinteren dagegen am geringsten. Dementsprechend nimmt ihr Körper insgesammt die Form eines Keiles oder Fächers an, mit mehr oder weniger Regelmässigkeit. Je nach den Einzelfällen ist die Gestalt dabei eine gestrecktere, wie bei Guttulina oder nimmt von vorn nach hinten sehr rasch an Breite ab, wie bei der in Fig. 2, Taf. II im Umriss abgebildeten nicht näher bestimmten Amöbe. Am Vorderende ist die Masse dünn und flach über das Substrat ausgespannt, mit der Abnahme der Adhäsion löst sie sich am Hinterende allmählich los und sucht sich unter dem Einfluss der Oberflächenspannung abzurunden. Da aber am Vorderende fortwährend Neuausbreitung statthat, so kann es am entgegengesetzten Pol natürlich im Allgemeinen nicht zur vollen Abrundung kommen, annähernd erreicht wird dieselbe aber z. B. am Hinterende der Amöben von Vampyrella pedata, wohl auf Grund der trägen Ortsbewegung dieser Form und der geringen Ausbreitung ihrer Masse. Wir geben in Fig. 1, Taf. II nach Klein[3]) Umrisscopien der Flächen- und Profilansicht einer solchen.

Dass chemische Differenzen in der Zusammensetzung, welche für das verschiedene Verhalten der beiden Pole massgebend sein müssen, vorhanden sind, zeigt auch die oberflächlichste mikroskopische Unter-

---

1) Morphologie und Biologie der Pilze. S. 174.

2) Handbuch der Botanik. Bd. III, 2. S. 7. — Nova Acta 1884.

3) Botan. Zeitung 1892. Taf. IV. Figg. 30, 31.

suchung eines solchen Amöbenkörpers. Am Vorderende ist das Protoplasma hyalin, zeigt höchstens Andeutungen einer zarten, feinen Granulirung, weiter nach hinten finden wir Vacuolen, Einlagerungen feinerer und gröberer Natur, den Zellkern, aufgenommene Nahrungsmassen und Reste von solchen u. s. w.

Auf künstlichem Wege lassen sich bei Anwendung lebloser Gemische entsprechende Erscheinungen ebenfalls realisiren. Aber zunächst nicht durch Herstellung von Gemischen, die wie die Amöbenkörper, in ihren verschiedenen Theilen ungleiche Zusammensetzung besitzen. Denn wenn es auch gelänge derartige „polar organisirte" Mischungen herzustellen, dass nur der eine Theil der Masse Ausbreitung auf dem angewandten Substrat zeigte, so würde doch schon im nächsten Moment die vorausgesetzte Polarität vernichtet werden, durch die unter den vorliegenden Verhältnissen im Innern der Masse nie ausbleibenden Innenbewegungen, die wir weiter unten näher zu betrachten haben werden. Diesen letzteren zum Trotz verläuft allerdings der Chemismus im Amöbenkörper derart, dass der polare Bau nicht verloren geht.

Man kann sich aber in anderer Weise helfen. Bringt man auf eine Glasplatte einen Wassertropfen und nähert demselben von einer Seite einen mit Aether befeuchteten Glasstab, so weicht der Wassertropfen über die Platte hinweg vor den Aetherdämpfen zurück, dasselbe thun Tropfen von Alkohol vor Dämpfen von Schwefelkohlenstoff, Glycerintropfen vor Alkohol. Die einseitig an der Oberfläche der angewandten Tropfen zur Condensation gelangenden Dämpfe sind es, welche in solchen Fällen die polare Structur und die einseitige Herabminderung der Adhäsion bedingen, welcher die Ortsbewegung zuzuschreiben ist.

Aehnliche Bewegungserscheinungen in bestimmter Richtung zeigen auch Oeltropfen auf einseitig erwärmten Metallplatten, das Oel flieht die wärmere Seite, Alkohol würde umgekehrt sich nach der wärmeren Seite hinbewegen müssen, da er sich erst oberhalb bestimmter Temperaturgrade auf Glas ausbreitet.

Eine rasche und anschauliche Nachahmung der Form und Bewegung eines Amöbenkörpers gelang mir, als ich bei 16—17°C. successive kleine Tröpfchen von Leinöl, welches mit Alkanna intensiv gefärbt war, auf eine frische Oberfläche des stark kalkhaltigen Göttinger Leitungswassers brachte.

Die ersten Tröpfchen breiten sich zu regelmässigen Kreisscheiben aus und zerfallen dann allmählich in zahlreiche kleinere Tröpfchen. Ist aber die Wasserfläche später durch das aufgebrachte Oel stärker verunreinigt, so erfolgt die Ausbreitung neuer Tröpfchen viel langsamer und unregelmässiger in zahlreichen Fällen ganz einseitig, in der Weise, dass ganz das Bild einer fächerförmig sich ausbreitenden nach einer

Seite sich fortbewegenden Amöbe entsteht. Natürlich kommt die Bewegung schon nach kurzer Zeit zur Ruhe.

Grössere monopolar gebaute Amöbenkörper, welche sich stark ausbreiten, zeigen in der Regel am dünnen Vorderrande in mehr oder weniger ausgeprägter Weise Buchten und Lappen, die natürlich aus entsprechenden geringen Differenzen in der relativen Intensität der für die Ausbreitung massgebenden Kräfte sich ableiten. Einen Anfang zu einer solchen Zertheilung finden wir schon bei der in Fig. 2, Taf. II dargestellten Amöbe, sehr weit geht sie aber bei den grossen Plasmodien der Mycetozoen.

Diese Plasmodien, als Riesenamöben zeigen die Zerschlitzung am Vorderrande immer und es wird durch sie der ganze Körper zu einem System vielfach und unregelmässig gelappter und ausgebuchteter Aeste, die aber, wie de Bary hervorhebt, in ihrer Gesammtheit doch die Fächerform wiederholen. An Plasmodien von Aethalium, die sich auf feuchtem Fliesspapier einseitig ausbreiten, kann man sich davon gut überzeugen. Nach rückwärts wird nicht nur die Oberfläche der einzelnen Aeste durch Abrundung vermindert, es werden auch die feineren Aeste und Lappen allmählich eingezogen und schliesslich das gesammte Verzweigungssystem zuletzt auf wenige starke Stämme reducirt, die hinten in sich selbst zusammenschmelzen und ihre Masse in einem axilen Strom wieder nach vorn transportiren.

Ganz entsprechende Figuren sind mit leblosen Flüssigkeiten und Gemischen leicht zu erhalten, so z. B. wenn absoluter Alkohol oder alkoholische Fuchsin- oder Safraninlösungen u. s. w. sich auf Glasplatten ausbreiten. Auch auf Wasserflächen sich ausbreitende ölige Flüssigkeiten zeigen oft genug solche Formen, wie viele Figuren von Tomlinson u. A. beweisen.

Von diesen im allgemeinen kurzen und plumpen Ausstülpungen, Pseudopodien, bis zu den überaus langen und fein verästelten Pseudopodien, wie wir sie bei manchen Protozoen, wie z. B. bei Rhizopoden, Heliozoen und Radiolarien finden, gibt es aber alle Uebergänge. Das auffallende ist in den letzteren Fällen nur, dass sich die betreffenden Pseudopodien zu so feinen und langen Fäden auf dem Substrat ausziehen können ohne labil zu werden und in einzelne Abschnitte zu zerfallen. Dafür dürfte aber die schleimige, gummiartige Consistenz derselben einen genügenden Erklärungsgrund abgeben.

Wie sich die Bildung ganz entsprechender Pseudopodien ohne Vermittlung einer Unterlage frei ins Wasser hinein mechanisch verstehen lässt, kann erst weiter unten näher zu zeigen versucht werden.

Auf anderen Flüssigkeiten sich ausbreitende Flüssigkeitstropfen zeigen oft einen stetigen Wechsel der äusseren Contouren, vorgeschobene Partien treten zurück, andere hervor, je nach den Einzelfällen mit mannigfaltigen Variationen. Unter den von Tomlinson studirten Objecten finden sich viele Beispiele dafür, besonders schön zeigt dies Verhalten aber auch ein Tropfen Leberthran, den man auf eine 0.25 % Sodalösung aufsetzt.

Die hierbei auftretenden Formen und Formänderungen erinnern so täuschend an das, was uns Amöben zeigen, dass Gad [1]), welcher neuerdings die betreffenden Erscheinungen an diesem Objecte mit Rücksicht auf die Mechanik der Emulgirung der Oele näher studirte, sie ganz unwillkürlich, aber durchaus mit Recht den Amöben verglich.

Diese Vorgänge beruhen darauf, dass zwischen den in Berührung befindlichen Flüssigkeiten Austausch von Substanzen durch gegenseitige Lösung stattfindet, ein Austausch, der natürlich nicht an allen Stellen und in jedem Momente mit genau der gleichen Intensität erfolgt. So muss die Zusammensetzung der ersteren und damit die Intensität der für die Ausbreitung massgebenden Kräfte an den einzelnen Stellen des Tropfenrandes von Moment zu Moment verschiedentlich variiren und damit auch der Grad der Ausbreitung selber. Dazu kommt, dass während der Anstellung der Versuche bald hier bald da ohne Regel auffallende Staubmassen u. s. w. Verunreinigungen der Oberflächen bedingen, die bei der grossen Empfindlichkeit der in Rede stehenden Kräfte ebenfalls beträchtliche Effecte herbeiführen können.

Bei den lebenden amöboid sich bewegenden Plasmamassen ist es nun leicht, sich durch directe Beobachtung davon zu überzeugen, dass hier die entsprechenden Bewegungsvorgänge von dem Eintritt chemischer Veränderungen im Substrat begleitet sind. Es ist eine bekannte Thatsache, auf die neuerdings Montgomery [2]) wieder ausdrücklich hingewiesen hat, dass bei dem Einziehen von Pseudopodien die Plasmasubstanz aus dem hyalinen, anscheinend homogenen Zustande mehr oder weniger rasch übergeht in eine trübe von Körnchen und Vacuolen durchsetzte Masse, dass in ihr also wie in einer labil gewordenen Lösung Entmischung stattfindet, während umgekehrt die Ausstreckung eines neuen Pseudopodiums in irgend einer Stelle der Oberfläche von den entgegengesetzten Erscheinungen begleitet ist. Die hierbei zu beobachtenden Veränderungen sind übrigens, wie ohne weiteres klar, genau dieselben als wie man sie in der Substanz einer einfachen monopolaren Amöbe, etwa einer Guttulina bei dem allmählichen Uebergange vom vorderen zum hinteren Ende, resp. umgekehrt eintreten sieht, auch hier

1) Arch. f. Anat. u. Phys. 1878. S. 181 ff.
2) Pflüger's Arch. f. Physiologie. Bd. 25. 1881. S. 497 ff. Taf. 9.

von denselben Erfolgen, Ausbreitung, oder Ablösung von dem Substrat, Contraction und Abrundung begleitet.

Neubildung und Rückbildung der Pseudopodien hängt nun auch bei den lebenden Amöben, wie bei einer sich ausbreitenden Flüssigkeit wesentlich von der Zusammensetzung der umgebenden Medien mit ab, und darauf beruht es, dass die Amöben in ihrer Bewegungsrichtung, wie in ihrem gesammten Verhalten, von gewissen Substanzen und bestimmten Kräften in ganz bestimmter Weise beeinflusst werden. Es muss im allgemeinen vorausgesetzt werden, dass jede, an irgend einer Stelle auftretende Aenderung im äusseren Medium auch entsprechende Variationen in dem Verhalten der die Form und die Bewegung bedingenden Kräfte an dieser Stelle im Gefolge haben wird, aber die auftretenden Effecte können nicht ohne weiteres als das unmittelbare Resultat dieser an Ort und Stelle hervorgerufenen Variationen betrachtet werden.

Die besonderen Effecte, Bildung oder Rückbildung von Pseudopodien, Kriechbewegung nach einer bestimmten Richtung hin, dem Reiz zufolge, oder von ihm hinweg, sind vielmehr im allgemeinen erst die Resultate von durch die ersten Eingriffe ausgelösten mehr oder weniger complicirten Reizübertragungen, wie das ja in der Regel im Organismus mit den Beziehungen zwischen den ersten Ursachen und den definitiven Effecten der Fall zu sein pflegt.

In den vorliegenden Fällen werden diese Reizübertragungen in der Weise wirken müssen, dass sie die von dem äusseren Agens unmittelbar angestrebten Aenderungen der Formen und Bewegungsrichtungen entweder fördern, oder unter Umständen paralysiren, oder auch in das Gegentheil umkehren, wie es gerade die unter normalen Umständen vorkommenden Verhältnisse für den betreffenden Organismus zweckmässig machen, einem bestimmten äusseren Agens zu folgen, es zu fliehen, oder auch ihm gegenüber sich indifferent zu verhalten.

Es ist darum auch hier, wie bei allen Reizwirkungen nicht auffallend, dass zwischen dem ersten Anstoss und dem definitiven Effect Proportionalität nicht statt hat, und dass im allgemeinen für jeden Organismus die verschiedenen Reize specifische sind und sein müssen, um Effecte hervorzubringen, während wir doch aus physikalischen Gründen, wie schon oben erwähnt, anzunehmen haben, dass jeder Aenderung im äusseren Medium auch eine Störung der Gleichgewichtsverhältnisse der Form und Bewegung bedingenden Kräfte entsprechen wird.

So ist es mechanisch durchaus erklärlich, dass Amöben Nahrungsstoffe, Feuchtigkeit, Wärme aufsuchen, gewisse andere Stoffe fliehen, wieder anderen gegenüber sich indifferent verhalten; dass diese Reactionen sowohl für die einzelnen Formen, wie für die verschiedenen Entwicklungszustände sehr verschieden sein können, dass sie mit dem Fortschreiten der Entwicklung in ihr Gegentheil sich umkehren können u. s. w.

Wenn wir auch auf Grund der bisher bekannt gewordenen Thatsachen über Entwicklung und Lebensweise amöboid beweglicher Organismen annehmen können, dass ihnen ganz allgemein die Fähigkeit auf äussere Einflüsse in specifischer Weise zu reagiren zukommt, so besitzen wir doch eingehendere Kenntniss dieser für die Kenntniss des Protoplasma so wichtigen Verhältnisse nur für die Plasmodien der Mycetozoen. Es sind die vor einigen Jahren erschienenen Arbeiten von Stahl[1]) und Bengt Jönsson[2]), welche hierüber volles Licht verbreitet haben.

Junge Plasmodien von Aethalium bewegen sich nach den Orten grösserer Feuchtigkeit, grösserer Wärme (zwischen 7 und 30°C. nach Stahl), nach nährstoffhaltigen Substanzen hin, werden dagegen von Salzlösungen und Zuckerlösungen abgestossen. Zur Fruchtbildung sich anschickende Plasmodien, die, wie schon der Augenschein lehrt, chemisch wesentlich anders constituirt sein müssen, sind dagegen negativ hydrotropisch und kriechen so an die Oberfläche der Substrate. Bei intensiver Beleuchtung sind die Plasmodien, wie Baranetzky[3]) zuerst constatirte, negativ heliotropisch. Photochemische oder vielleicht auch Wärmewirkungen des Lichtes werden hierbei zur Auslösung des Reizes dienen müssen.

Auch durch strömendes Wasser wird nach den erwähnten Untersuchungen die Bewegungsrichtung der Plasmodien im positiven Sinne beeinflusst. Vielleicht ist hierbei höherer Sauerstoffgehalt massgebend, wahrscheinlich werden aber auch dem umspülenden Wasser von den Plasmodien gewisse Stoffe entzogen und andererseits Stoffwechselproducte an dasselbe abgegeben.

Wenn in Stahl's Versuchen Plasmodien von $^1/_2$—$^1/_4$ % Zuckerlösung zunächst abgestossen wurden, sich aber allmählich an dieselbe gewöhnten und nun in sie hineinbewegten, so wird auch das verständlich, wenn wir uns klar machen, dass solche Lösungen zunächst starke diosmotische Störungen verursachen müssen. Diese werden aber aufhören, sobald das Plasmodium hinreichende Mengen von ihnen aufgenommen hat, von ihnen „durchtränkt" ist.

Ganz dasselbe gilt für die entsprechenden Reactionen auf unvermittelte Concentrationsänderungen des äusseren Mediums. Auch die Bewegungen, welche Plasmodien in den Versuchen von Bengt Jönsson ausführten, als sie mit Wasser in Berührung kamen, erklären sich ebenso. Die Plasmodien zogen sich zurück, kamen aber nach einer Weile wieder, zogen sich wieder zurück u. s. f. Der Mikroskopiker hat oft genug Gelegenheit beim Arbeiten eine ähnliche Beobachtung zu machen, wenn

1) Botan. Zeitung 1884.
2) Ber. der deutschen botan. Gesellschaft. Bd. 1. S. 515.
3) Mém. Soc. de Cherbourg. Tom. XIX. p. 321.

er zu einem in alkoholhaltigem Wasser unter Deckglas liegenden Präparat seitlich einen Glycerintropfen zusetzt. Der Glycerintropfen zieht sich bei der Berührung mit der alkoholischen Flüssigkeit zurück, dehnt sich nach einiger Zeit wieder aus, zieht sich wieder zurück und so ferner. Schon oben haben wir gesehen, dass Glycerintropfen vor Alkoholdämpfen fliehen; wenn sie in dem vorliegenden Falle zurückkommen, so beruht das darauf, dass die geringe einseitig zugetretene Alkoholmenge in der Zwischenzeit sich im ganzen Tropfen vertheilen und z. Th. auch durch Verdunstung wieder entweichen konnte.

Auf ganz denselben Ursachen beruht auch das Kriechen schwerer, süsser Weine, alkoholischer Zuckerlösungen u. s. w. an den Glaswänden der Gefässe. Am Rande der Flüssigkeitsoberfläche lösen sich Tropfen ab, steigen eine Zeit lang in die Höhe, senken sich dann wieder, steigen wieder empor u. s. w. Der Grund liegt hier darin, dass am oberen Rande der Tropfen, nach der Oeffnung des Glases zu, der Alkohol der Flüssigkeit rascher verdunstet als am entgegengesetzten gegen die Flüssigkeitsoberfläche zugewandten. Ist aber der Alkoholgehalt des Tropfens auf ein gewisses Minimum gesunken, so genügt die stark herabgesetzte Verdunstung nicht mehr eine Polarität von entsprechender Stärke im Tropfen hervorzubringen, er folgt jetzt der Schwere nach unten so lange bis durch Aufnahme neuer Flüssigkeit sein Alkoholgehalt wieder hinreichend gestiegen ist, um das Spiel von neuem beginnen zu lassen.

Bei diesen leblosen Objecten sind die einseitig zur Wirkung kommenden Molekularkräfte also ganz ebenso im Stande mit Leichtigkeit die Schwere zu überwinden, wie bei den Plasmodien, wenn sie an Pflanzenstengeln und Blättern hinaufkriechen.

Von Interesse sind auch noch die Angaben von Stahl über das Verhalten der zur Fructification sich anschickenden Plasmodien, wenn sie auf gleichmässig feuchtes Papier gebracht werden. Da sie hier, ihrem negativen Hydrotropismus entsprechend, nicht einseitig ausweichen konnten, so zog sich die ganze Masse in eine Anzahl halbkugliger Klumpen zusammen, die jeder für sich zu Sporangien wurden.

Ganz dasselbe macht eine hinreichend dünne Wasserschicht auf einer öligen Glas- oder Tellerplatte.

In vielen Fällen, wie bei Dictyostelium, Polysphondylium, den Stemoniteen schafft sich das fructificirende Plasmodium durch Stielbildung selber eine Stütze, an der es seinem negativen Hydrotropismus folgend hinaufkriechen und sich über dem feuchten Substrat erheben kann.

Die vorstehenden Ausführungen dürften genügen, um die Mechanik der Formbildung und Ortsbewegung der Amöben und amöboiden Plasmamassen zu erläutern. Die Mannigfaltigkeit ist hier zwar im einzelnen eine ganz unübersehbare, wer sich aber auch nur eine geringe An-

schauung davon verschafft hat, wie schon ein und dieselbe einfache leblose Flüssigkeit unter verschiedenen, nur wenig variirenden Umständen bei der Ausbreitung höchst mannigfaltige Formen annehmen kann, der wird zugeben, dass die Differenzen, welche wir für die complicirten Plasmagemische der einzelnen Formen in Bezug auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften, die Energie des Stoffwechsels u. s. w. anzunehmen haben in Gemeinschaft mit den Differenzen, welche aus den unübersehbaren Variationen der äusseren Verhältnisse sich ergeben, mehr als ausreichend erscheinen müssen, um diese Mannigfaltigkeit zu erklären.

Nach der vorstehend entwickelten Auffassung ist also die Ausbreitung des Amöbenkörpers und die Bildung der Pseudopodien kein activer, sondern ein passiver Vorgang, die Pseudopodien werden ausgezogen, nicht ausgestreckt. Die Anziehung zwischen den Theilchen des Amöbenkörpers und dem Substrat, auf welchem die Ausbreitung erfolgt, ist stärker als die Anziehung der Moleküle des Amöbenkörpers unter sich + der Anziehung, welche zwischen dem festen Substrat und der durch die Amöbe verdrängten Substanz, also dem Wasser besteht.

Es ist nun aber die Annahme, dass bei der Pseudopodienbildung in manchen Fällen die Mitwirkung einer vis a tergo statthat, nicht von der Hand zu weisen. So z. B. bei der Ausbildung stumpfer und plumper Pseudopodien. Locale Contractionen der peripherischen Schichten, etwa durch Aenderungen des Imbibitionsvermögens der Substanz veranlasst, könnten hier für das Austreiben solcher Fortsätze an anderen Stellen massgebend sein. Schon de Bary[1]) hat solche Contractionen z. Th. gewiss mit Recht für die Erklärung der Strömungen in den Plasmodien herbeigezogen.

Aber diese Auffassung ist doch zweifelsohne überall da unzulässig, wo die plasmatische Substanz sich auf dem Substrat in Form zarter, dünner Lamellen, oder langer, vielverästelter Pseudopodien ausbreitet.

Einem von hinten wirkenden Druck ist jedenfalls die Ausbildung mancher Pseudopodien frei in das Wasser hinein, die wie bekannt ganz verbreitet ist, zuzuschreiben. Indessen darf auch unter diesen Umständen keinenfalls an ihn gedacht werden in allen den Fällen, wo lange, zarte und vielfach gegliederte freie Pseudopodien auftreten, wie z. B. bei Rhizopoden und Radiolarien.

Es lässt sich nun unter gehöriger Berücksichtigung der gegebenen Verhältnisse auf physikalischer Grundlage von der Bildungsmechanik der Pseudopodien auch in diesen Fällen eine einfache Vorstellung ent-

---

1) Mycetozoen. Leipzig 1864.

wickeln, nach welcher dieselbe ihrem Wesen nach als identisch mit der bei der Ausbreitung auf einem fremden Substrat erscheinen muss.

Wenn eine in einer unbewegten Flüssigkeit liegende Substanz allmählich in Lösung übergeht, so vertheilen sich ihre Moleküle mit der Zeit gleichmässig in der lösenden Flüssigkeit, auch dann, wenn sie der Richtung der Schwerkraft entgegen in dem leichteren Lösungsmittel sich aufwärts bewegen müssen.

Der Grund liegt in den anziehenden Kräften, die zwischen den Molekülen der lösenden Flüssigkeit und der gelösten Substanz vorhanden sind. Diese Kräfte sind aber um so intensiver, je verdünnter die Lösung ist, und sie werden schliesslich in gesättigten Lösungen so klein, dass jede weitere Mischung aufhört.

Ist eine Lösung nun inhomogen, z. B. an verschiedenen Stellen von verschiedener Concentration, wie das bei der allmählichen Auflösung eines in ihr liegenden Körpers ja eintreten wird, so muss die Resultirende der Anziehungskräfte aller Flüssigkeitsmoleküle auf ein Molekül der in Lösung übergehenden Substanz immer nach der Seite der verdünnteren Lösung gerichtet sein und es müssen sich diese darum auch alle nach dieser Seite zu bewegen so lange, bis die Lösung homogen geworden ist.

Nehmen wir nun an, an Stelle des sich lösenden festen Körpers sei der Flüssigkeit eine schleimige, in ihr quellbare Masse eingelagert, etwa von der Consistenz eines Amöbenkörpers, und es habe dieselbe eine solche physikalische Verwandtschaft zu dem Medium, dass die Oberflächenspannung in der gemeinsamen Berührungsebene verschwindend klein werde; sodass also beide an dem Grenzfall stehen, wo vollständige Mischung noch nicht eintritt, sie noch gegeneinander individualisirt bleiben.

Es wird unter solchen Umständen zur Vergrösserung der gemeinsamen Oberfläche zwischen beiden, wenn ihre Zähigkeit nicht zu gross ist, auch nur minimalen Kraftaufwandes bedürfen. Nehmen wir nun an, das Medium sei aus irgend einem Grunde inhomogen und zeige etwa wie die Flüssigkeit um einen sich lösenden Körper concentrische Schichtung, so würde auch in einem solchen Falle eine die Theilchen der eingelagerten Masse nach Aussen fortziehende Kraft gegeben sein, sobald man annimmt, dass mit dem Abfall seiner Zusammensetzung die physikalische Verwandtschaft des Mediums zu den Molekülen der eingelagerten Masse zunimmt. Diese Kraft würde also die oberflächlich gelagerten Theilchen der Masse radial nach aussen zu ziehen bestrebt sein, in ähnlicher Weise, wie in Lösung übergehende Moleküle in entsprechender Richtung von den Molekularkräften fortgezogen werden. In dem vorliegenden Falle würden sie aber ihren Zusammenhang untereinander nicht aufgeben, wie die Moleküle sich lösender Substanzen.

Von der Grösse der Widerstände wird es dann im Einzelfalle abhängen, ob sie diesem Zuge Folge leisten oder nicht.

Es sind nun aber die Plasmakörper, die derartige feine und lange Pseudopodien bilden, ziemlich leicht flüssig, wie die Rhizopoden und Radiolarien zeigen.

Das Vorhandensein einer concentrischen Schichtung im äusseren Medium, welche wir, der vorstehenden Auffassung gemäss, zur Ermöglichung der Pseudopodienbildung frei in dasselbe hinaus nothwendig fordern müssen, darf nun um derartige Plasmakörper, wie z. B. um Radiolarien, Rhizopoden u. s. w. im allgemeinen vorausgesetzt werden. Denn dieselben stehen in fortwährendem Diffusionsaustausch mit dem Medium, nehmen aus ihm herandiffundirende Stoffe auf und geben ihrerseits wieder andere an dasselbe ab.

Die besonderen Formverhältnisse der Pseudopodien, ihre wechselnde Zahl, Länge, Dicke, Verzweigungsweise u. s. w. werden durch die Variationen der massgebenden Factoren zu begründen sein. In dieser Hinsicht ist bei der complicirten Zusammensetzung des Plasmakörpers und den Abstufungen hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften die grösste Mannigfaltigkeit denkbar. Eine nähere ursächliche Begründung aller der Einzelformen aber, mit welchen das Studium des pflanzlichen und thierischen Protoplasma in dieser Hinsicht bekannt gemacht hat, ist leicht begreiflicher Weise durchaus unthunlich.

Bemerkenswerth ist, dass die Ausstülpungen in das Medium hinein zwar in der Regel in Form von Fäden, Pseudopodien, auftreten, dass sie aber auch nicht selten als leistenartige Lamellen sich ausbilden können. Besonders interessant ist in dieser Hinsicht der von Fr. Eilh. Schulze[1]) beschriebene Placopus ruber, über dessen Körperoberfläche dünne Lamellen hervortreten, die in Form eines polygonalen Netzwerks zusammenhängen. Nach Klein's[2]) Angaben ist dieser Organismus übrigens identisch mit Vampyrella pedata.

Da in allen vorliegend besprochenen Fällen die Oberflächenspannung nur eine minimale ist, oft der Null gleich angenommen werden muss, sodass also keine nennbare Kraft vorhanden ist, welche die Oberfläche zu vermindern bestrebt wäre, so kommt es nicht selten vor, dass sich solche Plasmamassen weit ausbreiten, mehr oder weniger vollständig in Pseudopodien auflösen. Bekannte und instructive Objecte dafür sind Formen wie Vampyrella und Leptophrys, wegen welcher es hier genügt auf die Beschreibungen und bildlichen Darstellungen in den Specialmonographien von Cienkowski[3]), Hertwig und Lesser[4]),

1) Archiv für mikr. Anat. Bd. 11. S. 348. Taf. 19. Fig. 9—16.
2) Botan. Centralblatt. Bd. 11. 1882.
3) Max Schultze's Arch. f. mikr. Anat. Bd. 1.
4) Ebendas. Bd. 10. Supplement.

Fr. Eilh. Schulze[1]) u. s. w., sowie auf die Angaben in Bütschli's Protozoen, sowie Zopf's Pilzthieren zu verweisen.

Es darf im übrigen an dieser Stelle zum Schluss nicht unerwähnt bleiben, dass nicht alle Plasmafäden von Pseudopodienform durch Ausstülpung frei in das Medium hinein sich bilden. In pflanzlichen Zellen entstehen sie ganz gewöhnlich in der Weise, dass der Plasmakörper sich zuerst vacuolisirt, schaumig wird, und dass dann nachträglich die Trennungswände der Vacuolen durchlöchert werden, indem sie an einzelnen Stellen zerreissen. So fand ich es z. B. in den Zellen der Haare von Thladiantha dubia und in den Wurzelhaaren von Trianea bogotensis.

Für die Mechanik der Rückbildung, Wiedereinziehung der Pseudopodien werden in entsprechender Weise, wie bei amöboiden Plasmamassen zunächst chemische resp. Organisationsänderungen im Substrat, oder auch Aenderungen im Medium massgebend sein. Wenn dadurch die Oberflächenspannung eine merkliche Grösse erreicht, müssen sich die Plasmafäden nothwendiger Weise zu verkürzen und kuglig abzurunden streben, also in die Körpermasse wieder zurückfliessen. Je nachdem diese Aenderungen rascher oder langsamer vor sich gehen, wird das Einziehen der Pseudopodien allmählich oder katastrophenartig erfolgen können. Dass die Pseudopodien dabei, ebenso wie die in Einziehung begriffenen Theile der Amöbenkörper ihr Aussehen ändern, dass körnige Ausfällungen in ihnen auftreten, davon kann man sich in vielen Fällen leicht überzeugen.

Es darf indessen nicht vergessen werden, dass auch hier für die Contractionsmechanik vielfach auch gleichzeitig stattfindende Aenderungen des Imbibitionsvermögens der Plasmasubstanz Bedeutung gewinnen müssen, dass also die Contraction z. Th. auf Flüssigkeitsabgabe beruhen dürfte. Es geht das schon daraus hervor, dass die Oberfläche der in Einziehung begriffenen Pseudopodien vielfach ein stark variköses Aussehen besitzt.

Für die Richtigkeit der vorstehend entwickelten Auffassung von der Mechanik der Bildung freier Pseudopodien scheinen mir nun besonders auch einige z. Th. schon seit längerer Zeit bekannte Erscheinungen zu sprechen, die bei gewissen leblosen Gemischen unter Umständen auftreten.

Es sind das zunächst die sogenannten Myelinbildungen, über welche besonders Benecke[2]) und Brücke[3]) eine Reihe von Beobachtungen angestellt und mitgetheilt haben. Man erhält diese Formen nach Brücke sehr schön, wenn man Cholesterin mit Seifenwasser zur Trockne ab-

1) Max Schultze's Arch. f. mikr. Anat. Bd. 11.
2) Physiologische Studien. Giessen 1862.
3) Sitzgsber. der Wien. Akad. 79. III. Abth. 1879. S. 267.

dampft und zum Rückstand Wasser hinzusetzt. Ich verschaffte mir das Untersuchungsmaterial, ebenfalls nach den Vorschriften von Brücke und Benecke, in einfacher Weise durch Behandlung des Rückstandes von alkoholischem Eidotterextract mit Wasser oder Zuckerlösung. Indem das Cholesterin allmählich aufquillt, entstehen eigenthümliche fadenförmige Gebilde, oft sehr zart und dünn und von äusserst regelmässiger perlschnurförmiger Gestalt, die wie zarte Protoplasmafäden lebhaft zitternde und züngelnde Bewegungen zeigen. Eingehendere physikalische Untersuchungen über die Mechanik und die Bedingungen, welche diesen Gestaltungsvorgängen zu Grunde liegen, würden sehr erwünscht sein.

Dass auch die sogenannten Protoplasmafäden, welche Fr. Darwin[1]) an den Köpfchen der Drüsenhaare von Dipsacus sylvestris beobachtete, ebenfalls den Myelinbildungen zuzurechnen sind, muss für sehr wahrscheinlich gelten. Nach Cohn[2]) handelt es sich hierbei gar nicht um Plasmafäden, sondern um die sich zu langen Fäden ausziehenden schleimigen Secretmassen der Drüsenköpfchen; und ich muss demselben darin nach einigen Beobachtungen an Dipsacus laciniata, welche indessen ein wenig günstiges Object ist, durchaus beistimmen.

Die Formänderungen, welche Darwin an diesen Fäden fand, ihre Contraction auf Zusatz von Essigsäure, Schwefelsäure, Salzsäure und anderen Reagentien, das Auftreten kugelförmiger Anschwellungen an den freien Enden, ihre perlschnurförmige Gliederung u. s. w., erklären sich wie die ähnlichen Erscheinungen an anderen leblosen Flüssigkeitsfäden nach den Auseinandersetzungen dieses Kapitels vollständig physikalisch, und es ist nicht nöthig, dabei hier noch länger zu verweilen.

Die Fähigkeit des Protoplasmakörpers und seiner Theile ihre Gestalt zu verändern, sich zusammenzuziehen, wieder auszustrecken u. s. w., ist seit langer Zeit mit dem Namen Contractilität belegt worden. Schon Sachs[3]) hat vor 20 Jahren mit Recht darauf hingewiesen, dass damit für das Verständniss der Vorgänge wenig gewonnen sei, indem er sagte, „die bewegenden Kräfte unter dem Namen der Contractilität zusammen zu fassen, ist kein Gewinn für die Wissenschaft, so lange man die Vorstellung davon nicht genauer zu definiren vermag."

Den verschiedenen Contractionserscheinungen können in der That nach dem vorstehenden ganz verschiedene physikalische Vorgänge zu Grunde liegen. Die Volum- und Dimensionsänderungen, die jede Substanz infolge von Temperaturänderungen zeigt, kommen freilich für das Protoplasma wohl kaum in Betracht. Hier dürften in erster Linie, un-

1) Quarterly Journ. of mikr. Science. Vol. XVII. p. 169 u. 245 ff. Taf. XIX. 1877.
2) Jahresb. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur. 1877. S. 156.
3) Experimentalphysiologie. S. 453.

seren Ausführungen zufolge, den Contractionen Aenderungen der Oberflächenspannung zu Grunde liegen. In zweiter Linie wird es sich aber bei dem quellbaren protoplasmatischen Substrat um Variationen des Imbibitionszustandes handeln, mögen dieselben nun durch Aenderungen der chemischen Zusammensetzung und der Organisation im Innern der Masse, oder im Medium, oder in anderer Weise bedingt sein. Von sehr wesentlicher Bedeutung dürfte gerade dies für die Mechanik der rhythmischen Contraction der schwingenden Cilien sein, wie schon Engelmann[1]) vor einigen Jahren hervorgehoben hat.

In zahlreichen Fällen sind getrennte Plasmakörper oder auch nur Theile von solchen, wie verschiedene Pseudopodien, im Stande sich miteinander zu vereinigen, miteinander zu verschmelzen. Um dies zu ermöglichen, muss offenbar, nachdem dieselben sich hinreichend nahe gekommen sind, die letzte dünne Schicht des trennenden Mediums durchbrochen werden können.

Die erste Annäherung mag bei Plasmamassen vielfach eine zufällige sein, wie wohl oft bei den sich begegnenden zarten Pseudopodien von Rhizopoden und Radiolarien oder im Innern von Pflanzenzellen. In anderen Fällen müssen wir aber nach den vorliegenden Thatsachen annehmen, dass die letztere durch von einem der Theile ausgeschiedene Stoffwechselproducte veranlasst wird, dass also von dem einen aus in das Medium hineindiffundirende Substanzen dem anderen die einzuschlagende Richtung angeben. So ist es z. B. ohne Zweifel bei den zu Plasmodien sich vereinigenden Myxamöben, wenn sie alle dem in Bildung begriffenen jungen Plasmodium zustreben.

Eine definitive Vereinigung ist aber nur möglich, wenn die betreffenden Plasmamassen im Stande sind, das sie einschliessende Medium von ihrer Oberfläche gegenseitig zu verdrängen. Der Verschmelzungsvorgang beruht also auf denselben Bedingungen, wie die Benetzungs- und Ausbreitungserscheinungen.

Denken wir uns, die dünne Trennungsschicht des gemeinsamen Mediums zweier benachbarter Plasmakörper würde zufällig an einer Stelle durchbrochen und es träten die letzteren hier miteinander in unmittelbare Berührung, so können die an dieser Berührungsstelle in Action tretenden Kräfte der Oberflächenspannung entweder grösser oder kleiner sein, als die grösste der Spannungen, welche an der Berührungsfläche des Mediums mit den beiden Plasmakörpern herrschen. Im ersteren Falle würde die auftretende grössere Intensität der Spannung das entstandene Loch sofort wieder zuziehen müssen, die dauernde Benetzung der Plasmamassen also unmöglich machen, im zweiten Fall wird aber

1) Hermann, Handbuch der Physiologie. I, 1. S. 407.

umgekehrt die grössere Spannung, die in der Umgebung der Durchbruchstelle herrscht, die letztere sofort weiter zu vergrössern bestrebt sein. [1])

Wenn wir nun sehen, dass z. B. bei Rhizopoden, wie das die früheren Beobachter vielfach constatirt haben, nur die Pseudopodien derselben Individuen oder derselben Arten miteinander verschmelzen können, so ist das leicht verständlich. Es ist nicht anzunehmen, dass in solchem Falle bei der unmittelbaren Berührung der Plasmamassen merkbare Spannungskräfte sich entwickeln werden, denn als sich entsprechende Theile desselben Organismus oder als Individuen derselben Art werden sie wesentlich gleiche Zusammensetzung besitzen, und es ist klar, dass unter solchen Umständen die Spannung in der gemeinsamen Oberfläche verschwinden muss. Für die Plasmakörper zweier Organismen verschiedener Art wird diese Voraussetzung aber im allgemeinen nicht zutreffen und es wird bei ihnen darum auch Verschmelzung nicht erfolgen können. Das gilt aber keineswegs allgemein, denn wir wissen, dass es viele niedere Organismen gibt, die andere lebend verzehren, die Masse derselben in sich aufnehmen, so die Amöben, Vampyrella, Actinophrys, überhaupt Rhizopoden und Radiolarien. Das ist nur möglich, weil die betreffenden Plasmamassen sich gegenseitig zu benetzen im Stande sind.

Wie es also solchen Organismen möglich wird, unter den ihnen aufstossenden Objecten eine Auswahl zu treffen, liegt auf der Hand. Auch jede leblose Flüssigkeit thut das, indem sie sich nur auf ganz bestimmten Substraten ausbreitet, auf anderen aber nicht. Es berechtigt darum die Fähigkeit auch der niederen Organismen eine Nahrungsauswahl zu treffen, ebenso wenig, wie die früher besprochene Fähigkeit nur von specifischen äusseren Reizen in ihrer Bewegung beeinflusst zu werden, zu der Annahme, dass ihnen ebenso wie den höheren Organismen ausgebildete psychische Fähigkeiten, Empfindung, Bewusstsein und Wille zukomme, wie das einige Physiologen, z. B. Engelmann [2]), neuerdings auf Grund dieser Verhältnisse glaubten annehmen zu müssen.

Es ist auch verständlich, warum in den meisten Fällen die Plasmakörper oder ihre Theile auch bei denselben Individuen und Arten in der Regel nicht miteinander zu verschmelzen im Stande sind. Denn auch von der absoluten Intensität der zwischen dem Medium und den betreffenden Plasmamassen herrschenden Oberflächenspannung hängt die Möglichkeit dieses Verschmelzungsvorganges wesentlich ab. Je grösser die Oberflächenspannung hier ist, desto schwerer wird eine zufällige Durchbrechung der trennenden Schicht und eine directe Berührung der Plasmamassen zu Stande kommen können. So ist es z. B. auch sehr

1) Vergl. Quincke, Pflüger's Arch. f. Physiologie. Bd. 19. 1879. S. 129 ff.
2) Pflüger's Archiv f. Physiologie. Bd. 29. 1882. S. 387 ff.

schwer, Tropfen fetten Oeles, die in reinem Wasser liegen, zur Vereinigung zu bringen, während dies sofort sehr leicht gelingt, wenn dem Wasser etwas Alkohol zugefügt wird.

Es ist unter diesen Umständen aus physikalischen Gründen leicht erklärlich, warum mundlose niedere Organismen die Nahrung im Amöbenzustande, oder mit Hülfe amöboider Pseudopodien in sich aufnehmen, und ebenso warum Schwärmer in dem Moment, wo sie sich zur Ruhe begeben wollen, amöboide Formen annehmen, wie das oben näher beschrieben wurde. Das Auftreten der amöboiden Gestalt ist eben das Symptom, dass der betreffende Organismus das Substrat resp. das Nahrungsobject benetzt, dass er im Stande ist, das umgebende Medium von seiner Oberfläche zu verdrängen, und sie deutet gleichzeitig wie auch das Vorhandensein von Pseudopodien darauf hin, dass die absolute Intensität der Spannung zwischen dem Medium und den betreffenden Plasmakörpern nur eine unbeträchtliche ist.

Die Formänderungen und Ortsbewegungen amöboider Plasmakörper sind immer von Strömungsbewegungen im Innern ihrer Masse begleitet. Das einfachste Verhalten zeigen hier diejenigen Amöben, deren Körper eine einfach gestreckte Form mit gut charakterisirtem Vorder- und Hinterende besitzt. Die in solchen Formen stattfindende Strömungsbewegung ist schon früher sehr eingehend studirt worden durch Fr. Eilh. Schulze[1]), bei Pelomyxa palustris. Zu meinen Untersuchungen konnte ich diese Form leider nicht benutzen, dagegen studirte ich einige kleinere Arten, besonders eine sehr an Amoeba terricola Greef[2]) erinnernde Form und eine andere, welche mir die Guttulina protea Fayod oder jedenfalls eine nahestehende Form zu sein schien.

Einige andere noch untersuchte Formen wurden nicht näher bestimmt. Da meine Resultate mit denen von Schulze durchaus übereinstimmen, so will ich hier Pelomyxa der Besprechung zu Grunde legen, indem ich gleichzeitig eine vereinfachte Skizze der Abbildung von Schulze beifüge (Taf. II, Fig. 6).

Im Innern des Körpers bewegt sich ein breiter Strom von hinten nach vorne, um sich hier nach allen Seiten auszubreiten und gegen die Ränder umzubiegen. Die in der Achse sich bewegenden Partien gehen bis fast an den vorderen Rand der Amöbe, die mehr seitlich gelagerten divergiren um so früher von der geraden Richtung nach dem Rande zu, je weiter sie von der Achse entfernt sind. Das Umbiegen erfolgt nicht nur nach den beiden Seiten, sondern auch nach oben und unten.

---

1) Arch. f. mikr. Anat. Bd. 11. S. 345. Taf. 19. Fig. 8.
2) Ebendas. Bd. 2. Taf. 17. Taf. 18. Figg. 10, 11.

Von der letzteren Thatsache konnte sich freilich Schulze nicht ganz sicher überzeugen, nach meinen Beobachtungen glaube ich es indessen auch für Pelomyxa annehmen zu dürfen, um so eher, da Schulze es ebenfalls für wahrscheinlich hält. Die Randpartie im mittleren Theil des Thieres zeigt keine Bewegung, die Plasmamasse, vorher noch beweglich, scheint hier zu erstarren, und erst am hinteren Rande tritt die wieder verflüssigte Substanz in den Strom ein, indem sich hier das umgekehrte Spiel wiederholt, das wir soeben für das vordere Ende eingehend geschildert haben. Im Hinblick auf das Thier selbst findet also eine centrale Strömung von hinten nach vorn, eine entgegengesetzte an der ganzen Oberfläche statt, also ein fortwährender Kreislauf der Substanzen aus dem Innern gegen die Oberfläche — am Vorderende — und von der Oberfläche wieder nach innen am Hinterende. Es stört diese Auffassung durchaus nicht, dass die mittleren oberflächlichen Partien (bei c u. d in der Zeichnung, Taf. II, Fig. 6) der Aussenwelt gegenüber in Ruhe sich befinden, während das Thier sich allmählich vorwärts bewegt. Schulze glaubt nun, dass die Bewegung hauptsächlich durch das Contractionsbestreben des ruhenden mittleren Gürtels zu erklären sei.

Mir scheint sie indessen in folgender Weise aus der Mechanik der äusseren Formgestaltung und der Ortsbewegung abgeleitet werden zu müssen: Am Vorderende wird die Plasmasubstanz fortwährend auf dem Substrat ausgebreitet, mit einer gewissen Gewaltsamkeit, und die dazu nöthigen Massen können nur durch Zufluss aus den weiter zurückgelegenen Partien des Körpers beschafft werden. So entsteht infolge einer Saugwirkung der nach vorn gerichtete Innenstrom. Am Vorderende angelangt breitet er sich springbrunnenartig aus, weil die Ausbreitung in der Achse des Körpers am intensivsten, in den seitlich gelegenen Partien aber viel weniger ausgiebig ist.

Als weitere bewegende Ursache kommt noch dazu die Ablösung des Amöbenkörpers am Hinterende, wodurch dem Abrundungsbestreben desselben hier Folge gegeben werden kann. Die dadurch bedingte Fortbewegung dieser am Hinterende gelegenen Massen kann natürlich nur in der Richtung gegen das ausgebreitete Vorderende zu erfolgen. So ist also auch eine Druckwirkung von hinten mit in Rechnung zu ziehen, und Saug- und Druckwirkung vereinigen sich, um die Circulation der Masse zu Stande zu bringen.

Diese Druckwirkung allein ist es, wie wir schon oben sahen, vermuthlich, welcher die Bildung stumpfer plumper Pseudopodien frei ins Wasser hinein zuzuschreiben ist, während sie für die Bildungsmechanik zarter Pseudopodien zweifelsohne nicht in Betracht kommt.

Nach Analogie von einigen Bewegungserscheinungen, die man im Innern von Emulsionstropfen ganz gewöhnlich beobachten kann, könnte

man aber auch versucht sein, die Innenströmung der Amöben noch auf andere Weise abzuleiten.

In kleinen Emulsionstropfen, die ohne auf dem Substrat sich auszubreiten einem flüssigen Medium eingesenkt sind, findet man oft eine Innenbewegung, die ganz mit der oben für einfache Amöben beschriebenen übereinstimmt. Es eignen sich dazu ganz gut kleine Emulsionströpfchen, welche man z. B. erhält, wenn man alkoholische Lösungen von Gummigutt oder Colophonium in Wasser bringt.

In diesen Fällen sind nun die auftretenden Innenbewegungen abzuleiten aus Differenzen in der Intensität der Oberflächenspannung an den verschiedenen Stellen der Tropfenoberfläche. Die absolute Grösse dieser Spannungskräfte hängt, wie wir schon früher näher auseinandersetzten, von der chemischen Zusammensetzung der sich berührenden Substanzen in erster Linie ab, und wie die physikalischen Untersuchungen bewiesen haben, ist sie, trotz ihrer relativ bedeutenden Intensität, äusserst empfindlich schon gegen geringe Aenderungen der Zusammensetzung. Zeigt darum eine Flüssigkeitsoberfläche an den verschiedenen Stellen Differenzen in der chemischen Zusammensetzung, so können die ungleich starken Spannungskräfte in der Oberfläche sich nicht mehr das Gleichgewicht halten und es sind damit Bewegungsursachen gegeben, deren Resultat die bekannten, unter Umständen so äusserst intensiven Emulsionsbewegungen sind.

Nähert [1]) man einer reinen Wasserfläche einen mit Aether, Alkohol, Petroläther u. s. w. befeuchteten Glasstab, so entsteht eine höchst intensive centrifugale Bewegung der Wassertheilchen. Bei Anwendung einer dünneren Wasserschicht kann unterhalb des Stabes sogar eine Vertiefung in der Flüssigkeitsoberfläche entstehen, weil das Wasser von unten her nicht in dem Masse zuströmen kann, als es an der Oberfläche sich vom Centrum entfernt. In einem Wasserglase entsteht auf diese Weise ein Circulationsstrom, welcher, wenn man den Glasstab über die Mitte der Oberfläche hält, von hier allseitig nach den Wänden ausstrahlt, zum Boden abwärts steigt und von hier in der Mitte der Flüssigkeitsmasse wieder nach oben umwendet, um den Abfluss zu ersetzen. Ganz entsprechende Bewegungen entstehen, wenn man der freien Oberfläche von Olivenöl einen Tropfen Aether oder Alkohol, oder der Oberfläche von Schwefelkohlenstoff einen Alkoholtropfen nähert. Bringt man dagegen in die Nähe einer Alkoholfläche einen Tropfen CS_2, so entsteht ein Circulationsstrom in gerade umgekehrter Richtung, von den Gefässwänden bewegt sich die Flüssigkeit nach der Stelle zu, über welcher sich der CS_2 Tropfen befindet, steigt hier abwärts, um an den Gefässwänden wieder in die Höhe zu wandern.

Auch leicht verdampfende feste Körper in die Nähe oder auf freie

1) Vergl. bes. van der Mensbrugghe a. a. O. Bd. 34. 1870.

Flüssigkeitsoberflächen gebracht üben entsprechende Wirkungen aus; so erzeugen Stückchen von Kampfer, Phenol, krystallisirter Essigsäure auf Wasser ebenfalls centrifugale Strömungen.

In besonders intensiver Weise treten diese Strömungen in allen Lösungen auf, an deren Oberfläche lebhafte Verdampfung des Lösungsmittels oder eines der Componenten der Lösung statt hat, so besonders Lösungen von Harzen und ätherischen Oelen, in Alkohol, Aether, Chloroform, Schwefelkohlenstoff u. s. w. Besonders von dem Moment an, wo die Ausscheidung eines Theils der gelösten Substanzen infolge der Verdunstung des Lösungsmittels beginnt, werden diese Bewegungen besonders intensiv und leicht zu verfolgen.

Der Grund aller dieser Bewegungsvorgänge liegt also in der localen Herabsetzung oder Steigerung der Intensität der Oberflächenspannung infolge der Condensation von Dämpfen aus der Luft oder der Abgabe von solchen an die letztere durch Verdunstung. Wird dadurch an den betreffenden Stellen die Spannung erniedrigt, so entstehen centrifugale, wird sie erhöht aber centripetale Strömungen, wie bei der Annäherung von Schwefelkohlenstoff an eine Alkoholfläche.

Auf Flüssigkeitsoberflächen gebrachte Stückchen fester Körper, die sich allmählich in der Flüssigkeit lösen, wie die oben erwähnten, Kampfer, Phenol, krystallisirte Essigsäure, ferner viele andere, wie Natriummetall, Benzoe-, Bernstein-, Citronensäure, Baryt-, Calcium-, Magnesiumbutyrat u. s. w. beginnen bekanntlich in äusserst lebhafter Weise sich zu bewegen, und es kann diese Bewegung bei kleinen Kampferstückchen z. B. tagelang andauern. Diese Bewegungen rühren daher, dass der Lösungsvorgang an den einzelnen Stellen der Oberfläche der Stückchen nicht mit ganz gleicher Intensität erfolgt, und dass dadurch in ihrer Umgebung die Intensität der Oberflächenspannung nicht in ganz gleichmässiger Weise modificirt wird. Die Stückchen müssen sich dann immer nach der Seite zu bewegen, nach welcher die Spannungsintensität die grössere ist.

Da auch Temperaturdifferenzen von massgebender Bedeutung für die Intensität der Spannungskräfte sind, so lassen sich entsprechende Bewegungserscheinungen auch viel einfacher durch ungleichmässige Erwärmung einer flüssigen Oberfläche erzielen. Temperaturerniedrigung vergrössert, Temperaturerhöhung setzt die Intensität der Oberflächenspannung herab. Darum entstehen centrifugale Ströme im Wasser, wenn man ihm ein glühendes Eisen nähert, ein auf Wasser schwimmendes Stückchen Zinnfolie flieht einen seitlich genäherten glühenden Eisendraht oder das concentrirte Sonnenbildchen. So entstehen auch die Strömungen im geschmolzenen Wachs um die Flamme eines Lichtes, so die Schwimmbewegungen eines Nachtlichtes auf einer Oelfläche, wenn der Docht im Schwimmer excentrisch sitzt u. s. w.

Während nun in kleinen mikroskopischen Emulsionströpfchen in der Regel eine einfache Strömung zu Stande kommt, wie in einem monopolar gebauten Amöbenkörper, zeigen etwas grössere Tropfen, besonders, wenn sie z. B. auf dem Objectträger ausgebreitet neben geringerer Tiefe grössere Breite besitzen, eine ganze Anzahl von in sich zurücklaufenden Strömungen nebeneinander, die sich polygonal in sehr zierlicher aber vielfach und rasch wechselnder Weise gegeneinander abgrenzen. Im Einzelnen auf dieses näher einzugehen, ist hier nicht nöthig, in den Arbeiten von E. H. Weber[1]), Vogelsang[2]), und auch von Sachs[3]) finden sich nähere Angaben darüber. In Bezug auf die letzte Abhandlung muss hier aber hervorgehoben werden, dass Sachs mit Unrecht die bewegende Kraft in den Differenzen des specifischen Gewichts sucht, die in den verschiedenen Theilen seiner Emulsion infolge der ungleichmässigen Erwärmung auftreten mussten. Bei den minimalen Temperaturdifferenzen, um die es sich hier handelte, können Ungleichmässigkeiten des specifischen Gewichts als Bewegungsursachen hierbei gewiss nicht in Betracht kommen, als welche wir vielmehr die molekularen Kräfte, die in den Oberflächen ihren Sitz haben, anzusehen haben.

Man könnte nun daran denken, die Innenbewegung im Protoplasma einer Amöbe, die so frappante Aehnlichkeit mit der geschlossenen Strömung in einem Emulsionstropfen zeigt, beruhe auch auf derselben Mechanik. Dagegen sprechen aber verschiedene Gründe. An der Oberfläche einer kriechenden Amöbe befindet sich das äussere Medium in Ruhe. Man überzeugt sich davon leicht, wenn man feine Carminkörnchen in das amöbenhaltige Wasser bringt. Sie bleiben auch in unmittelbarer Nähe der Amöbe in Ruhe, werden höchstens gelegentlich auf kurze Strecken mit fortgeschleppt. Beruhte aber die Bewegung auf derselben Mechanik wie in einem Emulsionstropfen, so müsste die Plasmamasse an der Oberfläche besonders lebhafte Bewegung von vorn nach hinten zeigen, und das umgebende Medium müsste in entsprechendem Sinne sich bewegen, wie man das auch an der Oberfläche eines jeden in Wasser liegenden Emulsionstropfens constatiren kann.

Im Amöbenkörper scheint aber die peripherische Schicht in Ruhe zu sein, ja sie bildet in vielen Fällen eine deutliche und zuweilen faltenwerfende membranartige Hülle, vermuthlich infolge der coagulirenden Wirkung des umgebenden Mediums.

Wir können auch ferner nicht ohne weiteres voraussetzen, dass die Oberflächenspannung am Vorderende der Amöbe geringer sei als am Hinterende, denn die Ausbreitung auf dem Substrat am Vorderende,

1) Ber. d. sächs. Ges. d. Wissensch. zu Leipzig, math.-phys. Klasse. 1854. II.
2) Die Krystalliten. Bonn 1875. 3) Flora 1876. S. 262.

ihre Wiederablösung am Hinterende ist von diesem Verhältniss durchaus unabhängig.

Die oben entwickelten Vorstellungen über die Mechanik der Ausbreitungserscheinungen genügen aber vollständig, auch die Innenbewegungen in der Amöbe zu erklären.

Die in jedem Amöbenkörper stattfindende Strömung der Substanz hat das Bestreben, alle polaren Differenzen der Zusammensetzung, welche aus dem verschiedenen Verhalten des Vorder- und Hinterendes erschlossen werden müssen und die auch, wie wir wissen, mikroskopisch leicht nachzuweisen sind, auszugleichen. Wenn das nun doch nicht eintritt, wenn trotzdem die Polarität sich dauernd erhält, so müssen andere Ursachen vorhanden sein, welche dem Ausgleichungsbestreben der Innenströmung entgegenwirken. Einseitig zur Wirkung kommende Temperaturdifferenzen, ebensolche Differenzen im äusseren Medium, welche, wie wir oben sahen, auch homogene Flüssigkeiten zu einseitiger Ausbreitung und entsprechender Ortsbewegung veranlassen können und die auch auf das Verhalten von amöboiden Plasmakörpern oft genug massgebenden Einfluss erlangen, können doch nicht allgemein den polaren Bau der Amöben bedingen. Viel eher dürfte ein ungleichmässiger Stoffaustausch mit dem Medium grössere Bedeutung besitzen. Denn im Verhältniss zur Masse ist die Oberflächenentwicklung am Vorder- und Hinterende eine total verschiedene. Möglich, dass auch andere Umstände noch in Betracht kommen, wir wollen die Frage nach der Ursache der Polarität im Amöbenkörper hier nicht näher discutiren, da wir im folgenden Kapitel diesen Punkt allgemeiner zu behandeln haben.

Jedenfalls dürfen wir annehmen, dass die Polarität der Amöbe wesentlich auf innere, autonome Ursachen zurückzuführen ist, nur soweit es das Interesse des Organismus erfordert, wird diese Polarität dann von äusseren Factoren modificirt und regulirt. In dem Masse, als die Substanz des Amöbenkörpers in den seitlich gelegenen Partien von vorn nach hinten rückt, sehen wir sie ihr Aussehen, ihre Consistenz u. s. w. ändern, es treten körnige Ausfällungen, Vacuolen u. s. w. in ihr auf. Umgekehrt lösen sich im axilen Theil die nach vorn strömenden Körnchen allmählich wieder auf, die Masse wird wieder homogener und durchsichtig. Ein gesetzmässiger, periodisch sich wiederholender Verlauf des Chemismus in der Substanz der Amöbe ist also dadurch bewiesen.

Auch in den einfachsten Amöbenkörpern, bei einer Guttulina und ähnlichen Formen ist indessen die innere Polarität nicht so fest begründet, dass nicht gelegentlich Abweichungen aufträten. Nicht selten sieht man, wie sich das hyaline Vorderende plötzlich trübt, zusammenzieht und wie nun eine seitlich gelegene Partie, zuweilen auch direct das hintere Körperende seinen Charakter annimmt, und wie dement-

sprechend auch die Strömungsrichtung im Innern umwechselt. Diese Differenzen dürften zufälligen, autonomen Abweichungen im Verlauf des inneren Chemismus, sehr wahrscheinlich aber auch oft der Einwirkung äusserer Agentien, Temperatur- und Lichtdifferenzen, herandiffundirenden Substanzen u. s. w. zuzuschreiben sein.

Bei grösseren Amöben ist nun in der Regel eine feste Polarität und eine einzige in sich zurückkehrende Strömung nicht oder doch nur zeitweilig und mehr zufällig vorhanden. Solche Formen besitzen, wie wir sahen, mehr oder weniger zahlreiche vordere Pole und ebensoviele voneinander mehr oder weniger unabhängige Strömungen. Dabei nimmt oft ein grösserer Theil der Körpermasse an der Strömungsbewegung überhaupt zeitweilig nicht Theil, während in anderen Partien rückläufige Strömungen auftreten, die wieder umkehren können u. s. f. In ganz ausgezeichneter Weise finden wir dies Verhalten bekanntlich in den grossen Plasmodien der Mycetozoen. Es genügt wegen der näheren Einzelheiten hier auf de Bary's bekannte Angaben zu verweisen. Alle diese Variationen und Abweichungen erklären sich ohne weiteres aus der grösseren Körpermasse, geringeren relativen Intensität des Chemismus und einem weniger regelmässigen Verlauf desselben. Das letztere auch besonders deshalb, weil ungleichmässige Einwirkungen äusserer Agentien wegen des grösseren Raumes, den die Körpermasse einnimmt, viel häufiger sich werden einstellen und viel grössere Wichtigkeit erlangen müssen.

Wenn nun also nach den vorstehenden Ausführungen die Innenbewegungen in amöboiden Plasmakörpern ihrer Ursache nach nicht als Emulsionsbewegungen betrachtet werden dürfen, so liegen in dieser Beziehung die Verhältnisse wesentlich anders bei den Innenbewegungen, wie sie in behäuteten Plasmakörpern vorkommen und hier als Rotation, Circulation und Glitschbewegung bekannt sind.

Die grosse Bedeutung der oben näher besprochenen Emulsionsbewegungen für die Erklärung dieser Bewegungsvorgänge erkannte in den fünfziger Jahren schon E. H. Weber in seiner oben citirten Arbeit. Er sagt hier S. 67 nämlich Folgendes: „Vielleicht gelingt es in der Folge diesen (den ursächlichen Zusammenhang der beschriebenen Erscheinungen) aufzuklären und dadurch die physikalischen Ursachen mancher vor der Hand unerklärlicher Bewegungen im Körper der Thiere und Pflanzen zu entdecken. Dahin gehört die Circulation des Saftes in den Zellen der Chara und in manchen Elementarzellen vieler anderen Pflanzen, wo der rotirende Saft nicht in häutigen Canälen eingeschlossen ist, sondern sich an den Wänden frei zu bewegen scheint.“ Wenn diese Worte des berühmten Physikers und Physiologen nicht die

Beachtung fanden, die sie verdienten, ja, wenn sie von Hofmeister in seiner Zellenlehre im Jahre 1867 sogar ausdrücklich zurückgewiesen wurden, so lag das daran, dass die beschriebenen Emulsionsbewegungen noch selber der Erklärung bedurften, und dass gerade um diese Zeit Max Schultze und eine Reihe anderer Forscher durch ihre sorgfältigen Untersuchungen am Protoplasma Eigenschaften und Lebenserscheinungen nachgewiesen hatten, die nach dem damaligen Stande der physikalischen Kenntnisse die Annahme, das Protoplasma sei als eine Flüssigkeit aufzufassen als wenig wahrscheinlich, ja sogar als unzulässig erscheinen lassen mussten.

Wenn wir von den Rhizopoden und Radiolarien und ähnlich gebauten Protozoen absehen, finden wir die jetzt zu behandelnden Plasmabewegungen nur in mit Zellmembranen umgebenen Plasmakörpern, die einen Saftraum besitzen. Hier ist nun eine Berührungsfläche zweier flüssigen Medien gegeben, in der alle Bedingungen für die Hervorrufung von Emulsionsbewegungen gegeben sind. Wir dürfen uns nur vergegenwärtigen, wie die Verhältnisse in der lebenden Zelle liegen. Wir finden in ihr einen mehr oder weniger entwickelten Plasmaschlauch, welcher nach innen der complicirt zusammengesetzten Lösung des Zellsaftes angrenzt. Im ersteren sowohl, wie in dem letzteren finden fortwährend chemische Umsetzungen statt, welche auf die Grösse der Oberflächenspannung zwischen Plasma und Saft ununterbrochen modificirend einwirken müssen. Und wenn wir bedenken, dass sowohl im Saft, wie auch im Plasmakörper die Umsetzungen nicht in allen Regionen in qualitativer und quantitativer Beziehung gleichmässig verlaufen werden — für den Plasmakörper ist das ja bei der Verschiedenheit und der ungleichmässigen Vertheilung der Organe in ihm selbstverständlich, für den Saft darf es aber in geringerem Grade auch angenommen werden —, so liegt auf der Hand, dass die Grösse der Tangentialspannung nicht überall die gleiche sein kann und voraussichtlich von Moment zu Moment mit dem Verlauf des Chemismus in der Zelle und in ihren einzelnen Theilen wechseln wird. Damit sind aber die bewegenden Kräfte wieder gegeben, und es hängt nur davon ab, dass sie hinreichend gross sind und der in Bewegung zu setzende Protoplasmakörper durch seine Consistenz nicht zu grosse Widerstände darbietet, ob Bewegung entstehen wird oder nicht und wie ausgiebig dieselbe werden wird.

Analysiren wir nun an der Hand des vorliegenden Beobachtungsmaterials die betreffenden Verhältnisse noch etwas näher.

Die geringste Ausgiebigkeit besitzt die von Nägeli als Glitschbewegung bezeichnete Form der Plasmabewegung. Sie lässt sich bekanntlich besonders schön in den Zellen von Desmidieen und anderen Conjugaten (Closterium, Penium, Spirogyra u. s. w.) beobachten, kommt aber ganz allgemein in lebenden Pflanzenzellen vor. Es kommt dabei

im Wandbeleg nur zu geringfügigen Strömchen, die gewöhnlich bald wieder still stehen, an einer anderen Stelle von neuem beginnen, wieder zurückgehen u. s. w.

Zunächst erinnern diese Bewegungen wenig an das Schema der Emulsionsbewegungen, welches wir oben in unserer physikalischen Betrachtung entworfen haben. Nehmen wir indessen an, dass in diesen Fällen die bewegenden Kräfte nur von geringer Intensität sind und berücksichtigen wir, dass wir es mit einem mehr oder weniger zähflüssigen Medium zu thun haben, dass ferner aller Wahrscheinlichkeit nach die geringen Aenderungen der Intensität der Oberflächenspannung regellos bald hier bald da auftreten werden, so dürfen wir uns über den abweichenden Charakter dieser Bewegungsform, über das Fehlen geschlossener Strombahnen keineswegs wundern. Man kann sich nun in der That auch überzeugen, dass auch in leblosen Gemischen wenig ausgiebige Emulsionsbewegungen den Charakter der protoplasmatischen Glitschbewegung annehmen. Sehr schön konnte ich das z. B. beobachten in einem Gemisch, welches Vogelsang in der schon früher erwähnten Arbeit empfohlen hat. Löst man Schwefel in einem Gemisch von Schwefelkohlenstoff und Canadabalsam und bringt einen Tropfen der Lösung auf den Objectträger, so zeigen sich anfangs eine Zeit lang höchst intensive Emulsionsbewegungen. Ist aber die Masse durch Verdunstung des CS_2 zäher geworden, so verlangsamt sich die Bewegung, schliesslich hört sie an der zuerst erstarrenden Oberfläche ganz auf und nur im Innern zeigt sich jetzt noch einige Secunden lang ein Hin- und Herbewegen der Tröpfchen, welches die Glitschbewegung in Protoplasmakörpern treu nachahmt.

Werden die bewegenden Kräfte bedeutender, die Widerstände geringer, so geht aus der Glitschbewegung die Circulationsbewegung hervor, wie sich leicht an günstigen Objecten constatiren lässt. In den Zellen, welche für gewöhnlich Circulationsbewegung des Plasma zeigen, in denen dieselbe aber durch irgend einen Eingriff, etwa durch die Präparation, zeitweilig sistirt wurde, zeigt sich zunächst beim Wiederbeginn der Bewegung langsame Glitschbewegung, die allmählich stärker wird und schliesslich in Circulationsbewegung übergeht. Bei der letzteren ist der grössere Theil des Plasmakörpers in Bewegung, aber die Ströme sind zahlreich, ungeordnet u. s. f., offenbar aus denselben Gründen, die wir früher bei der Glitschbewegung erörtert haben.

Was nun das Thatsächliche der Bewegungsvorgänge bei der Circulation anbetrifft, so ist jedenfalls die von Brücke[1]) und neuerdings wieder von Hanstein[2]) vertretene Auffassung durchaus unzulässig. Nach diesen Forschern soll die Bewegung im Innern von geschlossenen

1) Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität.

2) Protoplasma. Heidelberg 1880.

und selbst ruhenden Strombahnen stattfinden. In vielen Fällen sind allerdings manche Partien von Plasmafäden, in denen Circulationsbewegung stattfindet in Ruhe, so jedenfalls in allen denjenigen Fällen, wo in einem Faden mehrere entgegengesetzt gerichtete Ströme vorkommen. Aber dann dürften es umgekehrt gerade die centraleren, vom Zellsaft am weitesten entfernten Partien sein, die in Ruhe verharren, ebenso wie die der Wand benachbarteren Schichten des Wandbelegs immer in Ruhe sind. Sicher ist ja dieses Verhalten und auch schon lange bekannt für die mit derberer Achse versehenen Pseudopodien von Actinosphaerium Eichhornii und anderen Heliozoen und Radiolarien, worauf schon Max Schultze[1]) hingewiesen hat.

Kommen an einem etwas dickeren Plasmafaden entgegengesetzt gerichtete Ströme vor, so müssen sich dieselben, wie vorauszusehen, gegenseitig oft stören, da eine scharf abgegrenzte Trennungsschicht zwischen ihnen jedenfalls nicht vorhanden ist. Das geht auch aus den vorliegenden Angaben hervor, denn oft ist ausdrücklich hervorgehoben — und es lässt sich auch leicht bestätigen — dass Körnchen auf ihrem Wege aus einem Strome in einen anderen übergehen können. Die Bedingungen dazu sind, wie leicht erklärlich, besonders dann gegeben, wenn in entgegengesetzter Richtung sich bewegende Körnchen gegeneinander prallen, wie das Heidenhain[2]) besonders bei Tradescantia beobachtete. Nöthig ist das letztere indessen nicht, wie sich ohne Schwierigkeit im Wandbeleg von Zellen, die Circulationsbewegung zeigen, nachweisen lässt.

In Plasmakörpern, die einen einfachen Wandbeleg bilden, sehen wir bei hinreichender Intensität der Bewegung einen einzigen, geschlossenen Strom auftreten, es entsteht die Rotationsbewegung. Der Grund scheint mir ein rein mechanischer zu sein. Denken wir uns in einem derartigen Plasmakörper lebhafte aber zunächst ungeordnete Bewegungen. Zahlreiche Ströme sollen neben- und untereinander nach den verschiedensten Richtungen verlaufen. Die Ströme werden sich gegenseitig stören, aneinander reiben müssen, und zwar wird der dadurch stattfindende Verlust an bewegender Kraft um so grösser sein, je zahlreicher die einzelnen Ströme, je grösser also ihre Oberfläche im Verhältniss zur Masse ist. Die stärkeren Ströme werden allmählich die schwächeren unterdrücken, in ihre Richtung mit hineinziehen, und so wird im Kampf ums Dasein unter ihnen schliesslich nur ein einziger Rotationsstrom übrig bleiben müssen, denn erst damit ist dem Princip des kleinsten Widerstandes Genüge geleistet. Die Widerstände sind ein Minimum, der Bewegungseffect ein Maximum. Schon Velten[3]) hat hervorgehoben, dass dasselbe Princip den Grund abgibt für die allgemein zutreffende That-

1) Das Protoplasma.

2) Studien des Breslauer Instituts. Heft II. S. 61 ff. 3) Flora 1873. S. 86.

sache, dass der Rotationsstrom immer den längsten Weg in der Zelle einschlägt.

Wesentliche Bedingungen für das Zustandekommen geschlossener Rotationsbewegungen sind hiernach also hinreichend ausgiebige bewegende Kräfte und möglichst geringe Reibungswiderstände. Es ist darum leicht erklärlich, dass wir sie allgemein in den besonders leichtflüssigen Plasmakörpern von Vallisneria, Elodea, den Characeen, in den Wurzelhaaren von Hydrocharis, Trianea u. s. w. auftreten sehen. Diese Leichtflüssigkeit ist auch der Grund, dass der Plasmakörper bei diesen Objecten sobald und fast durchgängig die Form des einfachen Wandbelegs annimmt, da seine geringe Zähigkeit natürlich das Ausspannen zahlreicher dünner Plasmafäden durch das Zelllumen ganz unmöglich macht. Das ist aber ebenfalls mit eine wesentliche Bedingung für die Ausbildung des einfachen Circulationsstromes.

In manchen Zellen bildet der Plasmakörper neben dem Wandbeleg noch einen einfachen dicken Strang, der in der Längsrichtung den Saftraum axil durchsetzt. So in den jungen Endospermzellen von Ceratophyllum demersum nach Velten,[1]) in den jungen Holzgefässen des Blattstiels von Ricinus nach de Vries[2]) oder auch in Kürbishaaren gelegentlich.

In solchen Zellen kommt es dann zu der sogenannten springbrunnenartigen Rotation, wobei in dem centralen Strang ein einziger Strom aufwärts oder abwärts fliesst, während die Masse im Wandbeleg in ihrer Gesammtheit in entgegengesetzter Richtung sich bewegt. Es kommt also dann zu einer Bewegungsform, die einigermassen mit der in einem einfachen Amöbenkörper sich vorfindenden zu vergleichen ist. Wie beim Vorhandensein eines einfachen Wandbelegs ein einfacher Rotationsstrom, so scheint mir in diesen Fällen die springbrunnenartige Rotation diejenige Bewegungsform zu sein, die bei der gegebenen Form des Plasmakörpers den mechanischen Anforderungen am besten entspricht, die also als die stabilste aufzufassen ist.

Die bisher zunächst in aller Kürze vorgetragene Auffassung über den Zusammenhang der verschiedenen Bewegungsmodi ergibt sich nun, wie schon angedeutet, ziemlich direct aus den zu beobachtenden Thatsachen. Es lässt sich nämlich nachweisen, dass sie in einer und derselben Zelle oft der Reihe nach aufeinander folgen können.

Ein besonders günstiges Object, um dies zu constatiren, sind die Wurzelhaare von Trianea bogotensis. In den jungen Haarzellen lebhaft wachsender Wurzeln, deren Plasma noch keinen Luftraum oder nur einzelne kleine Vacuolen zeigt, findet man eine noch wenig intensive wogende Bewegung, die später allmählich intensiver wird und in lebhafte

1) Botan. Zeitung 1872. S. 651. 2) Ebenda 1885. S. 22.

Circulation übergeht. Der gerüstförmige, ziemlich leichtflüssige Plasmakörper wechselt dabei fortwährend seine Gestalt, die Fäden verschieben sich, werden eingezogen oder verschmelzen miteinander, neue Fäden und bandförmige Platten entstehen durch Abspaltung oder Vacuolisirung u. s. f. Im allgemeinen verläuft die Bewegung im Wandbeleg von der Basis zur Spitze, in den das Lumen durchsetzenden Fäden in umgekehrter Richtung. Dieses ist besonders deutlich, wenn, was nicht selten für längere oder kürzere Zeit der Fall ist, im Innern ein dickerer Faden sich findet, der seitlich mit dem Wandbeleg nur durch einzelne dünnere Fäden und Platten in Verbindung steht. Oefter findet sich statt des einen centralen Stranges ein System von solchen, welches eine Anzahl von kleineren Safträumen umschliesst und insgesammt in basipetaler Richtung sich bewegt. In allen solchen Fällen haben wir also im Wesentlichen eine springbrunnenartige Rotation, die aber im nächsten Moment durch Zertheilung des centralen Stranges in gewöhnliche Circulation übergehen kann.

In etwas älteren Haaren bleibt dann in dem unteren Zelltheil bald nur ein einfacher Wandbeleg erhalten, während das Plasma an der Spitze zunächst noch den früheren gerüstförmigen Bau beibehält. Oft ist dann auch ein centraler Strang vorhanden, der aber nur in der Nähe der Spitze frei verläuft und sich weiter abwärts seitlich an den Wandbeleg anlegt. Man findet dann im unteren Zelltheil den auf- und absteigenden Strom wandständig, oft mehrere nebeneinander, die sich gegenseitig stören, unterdrücken u. s. w. Im oberen Zelltheil verläuft der absteigende Strom aber vorwiegend in dem centralen Strange, der nun da, wo er sich in den Wandbeleg ergiesst, zu den mannigfaltigsten und interessantesten Störungen und Stauungen Anlass gibt. Im älteren Haar verschwinden schliesslich auch an der Spitze die im Lumen verlaufenden Plasmafäden, und damit entsteht definitiv ein einziger in der Längsrichtung der Zelle verlaufender Rotationsstrom. Auch bei Elodea lässt sich der Uebergang von der Glitschbewegung zur Circulation und Rotation gut verfolgen, wie schon Velten [1]) angegeben hatte, nämlich dann, wenn durch Präparation in den Zellen das Plasma temporär zum Stillstand gekommen ist. Weniger günstig ist Vallisneria. Die in dem durch die Präparation zum Stillstand gekommenen Plasma zunächst nach einiger Zeit wieder auftretende Glitschbewegung ist wenig ausgiebig, wenn man nur auf die Chlorophyllkörper achtet. Aber das farblose Plasma ist lange vorher schon in lebhafterer Bewegung, wie sich an der regellosen Ortsveränderung der ihm eingelagerten zarten Kügelchen erkennen lässt. Mit dem Beginn der intensiveren Bewegung stellt sich in der Regel sofort auch der einfache Rotationsstrom her,

1) Botan. Zeitung 1872. S. 651.

eine deutliche Circulationsbewegung kommt an diesem Object kaum zur Beobachtung. Zuweilen bilden sich aber in derselben Zelle zunächst zwei entgegengesetzt gerichtete Rotationsströmungen aus. Es dauert dann je nach Umständen längere oder kürzere Zeit, bis einer von ihnen mehr und mehr unterdrückt und sein Plasma schliesslich mit in die Bewegung des anderen hineingezogen wird. Von Interesse ist noch, dass in einem solchen Falle die beiden Ströme nicht unabhängig nebeneinander verlaufen, sondern dass sie gewissermassen miteinander verkettet sind, indem an den Umbiegungsstellen am oberen und unteren Zellende häufig Chlorophyllkörper und Plasmamassen von dem einen Strom in den anderen übertreten.

Was nun die Richtung des Rotationsstromes anbetrifft, so folgt derselbe bekanntlich immer der Längsachse der Zelle. Schon Velten[1]) sprach, wie schon oben erwähnt, die Ansicht aus, dass der Strom die Richtung nehme, in welcher ihm der geringste Widerstand geboten werde, und ich kann demselben hierin nur beipflichten, nur wenn der Strom den längsten Weg einschlägt, dürften die Reibungswiderstände einen möglichst kleinen Werth erreichen.

Mit dieser Auffassung steht es nicht im Widerspruch, dass bei den Characeen die Rotationsebene in den Internodialzellen spiralige Drehung zeigt. Dafür hat schon Nägeli[2]) die richtige Erklärung gegeben. Die Internodialzellen besitzen nämlich selbst eine spiralige Drehung, welche vermuthlich durch Spannungen innerhalb der Membran hervorgerufen ist. Mit dem Eintritt derselben erleiden aber auch die Längsreihen der im Wandbeleg ruhenden Chlorophyllkörper spiralige Drehung und die spiralige Anordnung dieser ist es offenbar, die auch dem Rotationsstrom dieselbe Drehung aufzwingt, den Forderungen gemäss, die sich aus dem Princip des kleinsten Widerstandes ergeben.

Die Lage der Rotationsebene ist vielfach eine constante. Bei Vallisneria verläuft der Strom parallel der Blattoberfläche. Bei den Characeen sind die betreffenden Verhältnisse durch A. Braun[3]) näher untersucht worden. So liegt z. B. die Rotationsebene bei ihnen tangential in den röhrenförmig verlängerten Rindenzellen, der Indifferenzstreifen also radial. Die Dimensionen des Querschnitts der betreffenden Zellen, sowie Eigenthümlichkeiten der ungleichmässigen Vertheilung des Plasmakörpers an den verschiedenen Längswänden, auf deren Begründung wir im folgenden Kapitel zu sprechen kommen, dürften hier für die constante Lage der Strömungsebene massgebend sein.

Die Rotationsrichtung ist ferner constant in den Internodialzellen, wo der aufsteigende Strom die Seite einnimmt, an der das älteste Blatt des Quirles steht, ebenso in den Blattzellen, wo der Strom an der

1) Flora 1873. S. 86. 2) Beiträge II. S. 81.
3) Berliner Monatsber. 1852. S. 220 ff.

Rückenseite aufsteigt, obgleich der älteste Quirlast hier an der Bauchseite steht. Die betreffenden Zellen besitzen, wie schon aus der Entstehungsfolge der Seitenbildungen an ihnen hervorgeht, dorsiventrale Symmetrie. Dadurch dürfte die Constanz der Strömungsrichtung in ihnen hinreichend motivirt sein.

Bei Vallisneria, Elodea u. a. ist bekanntlich die Strömungsrichtung ganz inconstant, zeigt auch in benachbarten Zellen keine besonderen gesetzmässigen Beziehungen.

Auch der Zellsaft ist in den Zellen, deren Plasmakörper rotirt, in Bewegung. Das hat schon Velten[1]) den Hanstein'schen Angaben[2]) gegenüber hervorgehoben. Er bewies es für die Epidermiszellen von Elodea und Vallisneria.

Ein ausgezeichnetes Object um sich hiervon zu überzeugen sind auch die Wurzelhaare von Trianea bogotensis, bei denen im Zellsaft eine Anzahl körniger und krystallinischer Ausscheidungen nicht näher untersuchter Natur suspendirt sind, durch welche seine Rotation auf den ersten Blick bewiesen wird. Uebrigens ist es lange bekannt, dass in den Zellen der Characeen auch der Zellsaft an der Rotation theilnimmt.

Die Bewegung des Saftes ist immer gleichsinnig der des Plasmakörpers. Das verlangt auch die Theorie. Es genügt in Bezug hierauf an dieser Stelle auf die oben bei Behandlung der Amöbenbewegung gemachten Auseinandersetzungen zu verweisen.

Im Uebrigen kann ich nicht mit Bestimmtheit angeben, ob auch in den Zellen, in denen nur Glitschbewegung oder nur Circulation vorkommt, der Zellsaft ebenfalls an der Bewegung theilnimmt. Voraussichtlich wird es wohl der Fall sein, doch können die Strömungen in diesen Fällen natürlich nur locale sein, denen des Plasmakörpers entsprechend. In den Haarzellen von Goldfussia glomerata konnte ich beobachten, dass von den dem Zellsaft hier eingelagerten kleinen Oxalatkryställchen manche in der Nähe von Plasmafäden liegende eine Zeit lang mit fortgeführt wurden, dann aber wieder zur Ruhe kamen. Vielleicht gerathen dieselben aber nur dadurch in Bewegung, dass sie den Plasmafäden hier zeitweilig anhaften.

Die bewegende Kraft liegt also bei den Plasmabewegungen an der Grenze zwischen Zellsaft und Wandbeleg, wie das auch Pringsheim[3]) und Nägeli[4]) wollten. Die Annahme von Brücke[5]) und Hanstein[6]), dass die einzelnen Ströme von ruhenden, festen peripherischen Schich-

1) Flora 1873. S. 85.
2) Sitzungsber. der niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Bonn. 1870.
3) Untersuchungen über den Bau u. die Bildung d. Pflanzenzelle. Berlin 1854. S. 9.
4) Nägeli und Schwendener, das Mikroskop. S. 399.
5) Sitzungsber. der Wien. Akad. d. Wiss. Bd. 44. 1861. S. 403.
6) A. a. O. S. 223.

ten, gleich Ufern, eingeschlossen seien, ist mit den zu beobachtenden Thatsachen ganz unvereinbar.

Die Intensität der Bewegung nimmt in Uebereinstimmung damit von dem Sitz der Kraft gegen die Zellmembran zu allmählich ab. In der Nachbarschaft der letzteren sind die Schichten mehr oder weniger weit in Ruhe. Während bei Vallisneria und Elodea die Farbkörper sammt dem Zellkern an der Bewegung Theil nehmen, ruhen die Farbkörper bei den Characeen und nur der Kern wird bei ihnen mit der entsprechenden Plasmaschicht noch umher geführt.

Bei der Circulationsbewegung lassen sich feste Beziehungen zwischen den einzelnen Strömen, sowie Beziehungen zwischen den Strömungsrichtungen und den verschiedenen Partien des Zellleibes nie sicher nachweisen. Am auffallendsten könnte es aber auf den ersten Blick erscheinen, dass sich nie Ausstrahlungscentra nachweisen lassen, in der Weise wie sie am Vorderende einer Amöbe oder eines Emulsionstropfens auftreten. Der Grund ist aber ein naheliegender. Für die Plasmamassen, welche von Stellen mit geringerer Oberflächenspannung fortgeführt werden, muss von anderswoher Ersatz geschafft werden. Im Amöbenkörper und in einem Emulsionstropfen erfolgt dieser Zufluss aus den inneren Körperpartien. Das ist aber in den gewöhnlichen Plasmakörpern nicht möglich wegen der geringen Dicke des Wandbelegs. Die centrifugalen und die centripetalen Ströme können nicht übereinander zur Ausbildung kommen, sondern müssen nebeneinander verlaufen und sich so in mannigfachster Weise stören. Dazu kommt dann noch, dass aller Wahrscheinlichkeit nach im Fortgange des Chemismus die Stellen mit erniedrigter oder erhöhter Oberflächenspannung fortwährend und regellos wechseln werden.

Zum Schluss wollen wir noch mit ein paar Worten auf einige Beobachtungen von Velten[1]) eingehen, durch welche derselbe erwiesen zu haben glaubte, dass unter Umständen besonderen Theilen des Plasmakörpers eine active Bewegung zukomme. Eine eingehende Erörterung dieser Frage werden wir erst im nächsten Kapitel geben können, die betreffenden Velten'schen Beobachtungen klären sich dagegen leicht in anderer Weise auf.

In den Internodialzellen von Nitella schwimmen oft isolirte Farbkörper oder kleine Gruppen von solchen im rotirenden Plasmastrom. Hierbei zeigen dieselben nun nicht nur fortschreitende, sondern auch drehende Bewegungen, und was das auffallende dabei ist, es drehen sich oft ganz benachbarte Farbkörper in entgegengesetztem Sinne. Dabei können sie, wie Velten hervorhebt, wie ein Ruder die benachbarten Plasmatheilchen aus ihrer Lage verdrängen. Ich selbst konnte

1) Flora 1876. S. 85.

die betreffende Erscheinung bei Nitella capitata öfter eingehend studiren, sie erklärt sich auf folgende Weise sehr einfach: Die betreffenden Massen rollen auf der Innenseite der ruhenden Plasmaschichten und je nach der Neigung, welche sie hierbei dem Beobachter gegenüber einnehmen, muss die Drehung nach rechts oder nach links herum erfolgen. Die Betrachtung der schematischen Figuren a und b auf Taf. II, 8 wird dies leicht veranschaulichen. Fig. 8 a ist frei nach Velten's Fig. a, p. 85 copirt. Es ist die Oberflächenansicht eines Nitellafadens, der Pfeil deutet die Strömungsrichtung an. Eingezeichnet sind vier aus dem Wandbeleg frei gewordene und in drehender Fortbewegung begriffene Chlorophyllkörper. Fig. 8 b gibt einen Theil eines entsprechenden Querschnitts wieder. Von oben aufschauend sieht man den mittleren Chlorophyllkörper genau von der Kante, die beiderseits benachbarten schräg aber von verschiedenen Seiten. Das vierte links am Rande ist wieder ebenso geneigt, wie das rechts seitlich gelegene. Wenn man annimmt, dass der Rotationsstrom aus der Papierebene nach oben hervortritt, so müssen sich bei ihrer fortschreitenden Bewegung die beiden letzteren in dem Sinne wie α in Fig. 8 a, das mittlere links aber umgekehrt wie β drehen.

Die Schlüsse, die Velten aus diesen Beobachtungen gezogen hat, sind deshalb durchaus hinfällig.

Wir können damit die Discussion über die gewöhnlichen Formen der Protoplasmabewegungen wohl abschliessen. Ein Eingehen auf die rein empirischen Daten über die Intensität der Bewegung, die Beeinflussung derselben durch das Alter der Zellen, die Temperatur, den Sauerstoff und andere Gase und Chemikalien u. s. w. wird hier nicht nöthig sein. Alle diese Thatsachen erklären sich auf die einfachste Weise dadurch, dass die betreffenden Verhältnisse entweder auf den Chemismus oder auf die Consistenz des Plasmakörpers modificirend einwirken, also entweder die Betriebskraft oder die Widerstände verschiedentlich variiren.

Dass die bewegenden Kräfte übrigens nicht elektrischer Natur sein konnten, hat vor Kurzem noch Reinke[1]) mit aller Sicherheit dadurch nachgewiesen, dass er zeigte, dass sich strömendes Plasma und Zellen mit solchem, zwischen starken Magnetpolen beweglich suspendirt, ganz indifferent verhalten.

Im Anschluss an die bisher besprochenen Plasmabewegungen von mehr universeller Bedeutung, wollen wir auf den folgenden Blättern noch einige Specialfälle betrachten und darzulegen versuchen, in wie weit sie mit den bisherigen Ergebnissen harmoniren.

Eine sehr eigenthümliche und bisher ganz räthselhafte Art der Orts-

1) Pflüger's Archiv f. Physiologie. Bd. 27. 1882.

bewegung habe ich vor einiger Zeit bei den kugligen Sporen und Spermatien der Bangiaceengattung Erythrotrichia nachgewiesen. Während die Sporen von Bangia und Porphyra bekanntlich amöboide Kriechbewegung zeigen, schwimmen diejenigen der Erythrotrichien ganz frei im Wasser, wovon ich mich bei wiederholter Untersuchung dieser Objecte im Frühjahr 1884 in Neapel wieder mit aller Sicherheit überzeugen konnte. Sie zeigen dabei keine Spur von Gestaltveränderung und rücken je nach den Arten mit verschiedener Geschwindigkeit vor, am raschesten bei Erythrotrichia ciliaris. Die Bewegung ist oft eine gleichmässig fortschreitende, dann wieder ruckweise, äusserlich sehr an die der Diatomeen erinnernde. Bewegungsorgane in Form von Cilien sind nicht nachweisbar, ihr Vorhandensein aber auch schon a priori durch den ganzen Charakter der Bewegung ausgeschlossen. Die Bewegungsrichtung ist bei Erythrotrichia ciliaris von der Beleuchtung abhängig, in einigen Versuchen fand ich die Sporen nach einiger Zeit an dem der Lichtquelle zugewandten Tropfenrande angesammelt. Nähere Untersuchungen habe ich darüber jedoch nicht angestellt, auch kann ich nicht sagen, ob die Spermatien in irgend einer Weise von den reifen Prokarpien angezogen werden, was ja als wahrscheinlich gelten muss. Ich glaube nun, dass diese Bewegungsform auf Grundlage unserer bisherigen Ausführungen in folgender Weise verständlich wird:

Nehmen wir an, es entstehe in den betreffenden Sporen und Spermatien eine Polarität entweder unter dem Einfluss innerer Ursachen oder durch einseitige Beleuchtung oder auch durch herandiffundirende Substanzen u. s. w., sodass die Oberflächenspannung an dem einen Pol geringer wird als am entgegengesetzten, dann ist damit eine bewegende Kraft gegeben. Wie bei einem einer anderen Flüssigkeit eingetauchten Emulsionstropfen wird sie bestrebt sein die sich berührenden Schichten beider Systeme von den Orten geringster zu denen grösster Spannung hinzubewegen.

Der unter diesen Umständen eintretende Effect kann nun je nach der Lage der Verhältnisse ein verschiedener sein. In vielen Fällen kommt es im Tropfen wie im umgebenden Medium zu den oben beschriebenen Rotationsbewegungen. (Vergl. die Skizze Taf. II, Fig. 7.) Ist aber der Tropfen von nur geringerer Grösse, so kann auch die Strömungsbewegung im äusseren Medium durch eine Ortsbewegung des gesammten Tropfens in entgegengesetzter Richtung compensirt werden. Sobald nämlich das Gewicht des Tropfens hinreichend gering ist, dass der zu seiner Fortbewegung erforderliche Kraftaufwand geringer wird, als der Widerstand, den die Flüssigkeitsreibung der Ausbildung der nöthigen Rotationsströmungen im äusseren Medium entgegensetzt. Denn dem Bestreben der Oberflächenkräfte, die Theilchen des Mediums von den Stellen geringerer Spannung an der Oberfläche des Tropfens gegen

die der grösseren zu zu verschieben, wird auch dadurch Genüge geleistet, dass das Medium in Ruhe bleibt, der Tropfen sich aber fortbewegt. Der letztere wälzt sich dann vermöge der in ihm stattfindenden Rotationsbewegung auf seiner Berührungsfläche mit dem Medium gewissermassen dahin, wie etwa die Triebräder einer Locomotive sich auf den Schienen vorwärtsschieben.

Es kann natürlich auch ganz derselbe Effect erzielt werden, wenn die Polarität nicht im Tropfen, sondern im Medium ihren Sitz hat, wenn also ein homogener Tropfen einem nicht homogenen Medium eingesenkt ist, wie es etwa entsteht, wenn Flüssigkeiten oder sich lösende feste Substanzen allmählich in dasselbe hineindiffundiren. Auch dann muss die Spannung an zwei entgegengesetzten Polen des Tropfens verschiedene Werthe annehmen und unter Umständen Bewegung auftreten. In diesem Falle wird aber die Bewegungsrichtung eine ganz bestimmte sein müssen. Sie muss nämlich in der Richtung der abfallenden oder steigenden Concentration erfolgen. Jeder beliebige Theil des Tropfens kann ferner dabei nach vorn gerichtet sein. Hat aber die Polarität im Tropfen ihren Sitz, so wird die Bewegungsrichtung vom homogenen Medium nicht beeinflusst werden können, sondern allein von der Stellung abhängen, welche der Pol des Tropfens einnimmt, an welchem die geringste Oberflächenspannung herrscht, da dieser bei der Bewegung immer nach vorn gerichtet sein muss.

Man hat oft Gelegenheit, unter dem Mikroskop Bewegungen zu beobachten, die in den vorstehend besprochenen Verhältnissen ihren Grund haben, so von kleinen Luftblasen oder von mancherlei ausgeschiedenen Emulsionströpfchen, wie man sie ganz gewöhnlich erhält, wenn man Präparate behufs mikrochemischer Untersuchungen der Reihe nach mit verschiedenen Reagentien, wie Aether, Chloroform, Alkohol, Wasser u. s. w. behandelt, ohne sie vorher immer mit besonderer Sorgfalt ausgewaschen zu haben.

Was nun die Sporen der Erythrotrichien anbetrifft, so konnte ich an ihnen allerdings bei einer im Frühjahr 1884 speciell auf diesen Punkt gerichteten Untersuchung derselben, während sie in Bewegung begriffen waren, eine besondere Polarität nicht erkennen. Der gröbere Bau ihres Plasmakörpers ist ein wesentlich radiärer, nur der Zellkern liegt etwas excentrisch neben dem Farbkörper. Indessen ist das kein Beweis dafür, dass eine solche Polarität in den oberflächlichen, hyalinen Schichten fehlt, besonders wenn man bedenkt, wie ausserordentlich empfindlich die Kräfte sind, die hierbei den Ausschlag geben.

Dass die Bewegungen vielfach ruckweise erfolgen, würde sich durch stossweise Aenderungen der Spannungsintensitäten an der Sporenoberfläche erkennen lassen. Gegen die Annahme, dass die Aenderungen der chemischen Zusammensetzung der Sporenoberfläche, durch welche

solche bedingt sein müssten, nicht immer in vollkommen gleichmässiger Weise, sondern oft ruckweise erfolgen, lässt sich ein begründeter Einwurf, soviel ich sehe, nicht erheben. Sie muss umgekehrt viel näherliegender, als das Gegentheil einer absoluten Gleichmässigkeit in der Abwicklung des Chemismus im Sporenkörper erscheinen.

Die Ortsbewegung der Diatomeen ist bekanntlich nach Max Schultze[1]) den Bewegungen in einem dünnen Plasmabeleg zuzuschreiben, welcher nach ihm die äusseren Schalenflächen überziehen soll, während Nägeli[2]) und Andere annehmen, dass sie durch den Rückstoss eines am hinteren Zellende hervorgetriebenen Wasserstromes verursacht sei. Man wird diese letztere Auffassung bei unbefangener Würdigung des ganzen Charakters des Bewegungsvorganges unmöglich für zulässig halten können, während für die Auffassung von M. Schultze eine Reihe von Thatsachen sprechen. Dass in Strömung befindliche Massen irgend welcher Natur an der äusseren Zelloberfläche vorhanden sein müssen, wird ja unzweideutig durch die lebhaften Bewegungen bewiesen, welche anhängende fremde Partikel ausführen. Diese oft beschriebenen und leicht zu constatirenden Bewegungen bleiben bei Annahme der Nägeli'schen Auffassung ganz unerklärt, während sie durchaus mit Schultze's Annahme, dass an der Zelloberfläche Protoplasmaströmung stattfinde, harmoniren.

Die Bewegung findet bei den Diatomeen nie frei durch das Wasser hin statt, sondern ist eine Kriechbewegung, bei der freilich oft nur die eine Spitze der Zelle dem Substrat aufruht.

Mir scheint nun, dass sich die Bewegungsmechanik in diesen Fällen in einfacher Weise ebenso ableiten lässt, wie die der Ortsbewegung der Amöben, die wir oben besprochen haben. Nimmt man an, dass die an der Oberfläche befindliche hypothetische Plasmamasse sich an der bei der Bewegung nach vorn gerichteten Seite auf dem Substrat ausbreitet — dass eine Benetzung des letzteren stattfindet, wird ja dadurch bewiesen, dass die Diatomeen ihm fest anhaften — an der entgegengesetzten aber fortwährend wieder ablöst, durch das Wasser wieder verdrängt wird, so wäre die Ortsbewegung mechanisch vollständig erklärt. Zwar beweist uns die wechselnde und nach verschiedenen Richtungen erfolgende Bewegung der Körnchen an der Oberfläche der Diatomeen, dass eine derartige einfache Polarität, wie beim Amöbenkörper hier nicht besteht. Aber gesetzt auch, die Verhältnisse lägen bei den Diatomeen derart, dass Ausbreitung und Ablösung an den verschiedenen Stellen der ganzen dem Substrat anliegenden Seite in unregelmässiger Weise miteinander abwechselten, so würde doch im allgemeinen eine Resultirende aller nach den verschiedenen Seiten gerichteten Kräfte vor-

1) Arch. f. mikrosk. Anatomie. I. S. 376.

2) Einzellige Algen. S. 20. Beiträge II. S. 90, 91.

handen sein und ihr zufolge die Gesammtbewegung vor sich gehen müssen. Dasselbe sehen wir ja auch bei den vielfach gelappten Amöbenkörpern, die ebenfalls, trotzdem sie Pseudopodien nach allen Seiten ausstrecken, sich nach einer bestimmten Seite fortbewegen, wenn auch oft sehr langsam und die Richtung oft wechselnd. Das letztere gilt aber auch für die Diatomeen, wie bekannt.

Die Bewegung der Oscillarien dürfte sich in derselben Weise erklären. Hier glaubt bekanntlich Engelmann[1]) den betreffenden Plasmabeleg auf der Aussenfläche der Zellmembran durch starke Inductionsströme, sowie durch Einwirkung von Salpetersäure direct in Form eines feinen Häutchens nachgewiesen zu haben.

Von einer näheren Besprechung der von Stahl[2]) vor einigen Jahren zuerst näher studirten Bewegungserscheinungen bei Desmidieen können wir jetzt hier ganz absehen, da Klebs[3]) neuerdings nachgewiesen hat, dass dieselben durch ungleichmässige Schleimabsonderung hervorgerufen werden.

Etwas näher haben wir aber zum Schluss noch auf die Bewegung schwärmender Zellen und ihre Beeinflussung durch äussere Agentien einzugehen. Die Bewegung der Schwärmsporen und ähnlich organisirter Protozoen wird durch schwingende Cilien vermittelt, in der mannigfaltigsten Ausbildung nach Zahl, Grösse und Anheftungsort. Nägeli[4]) wollte freilich aus mechanischen Gründen die Cilien für unfähig erklären, die Ortsbewegung hervorzubringen, indem er hervorhob, dass sie etwa Tauen vergleichbar wären, die durch schwingende Bewegungen ein grosses Schiff in Bewegung setzen sollten. So ungünstig liegen aber die Grössenverhältnisse keineswegs und Nägeli's Auffassung hat darum auch keinen Anklang gefunden. Immerhin ist aber die Annahme, dass in manchen Fällen wenigstens ein Theil der bewegenden Kräfte durch andere Ursachen geliefert werde, im Hinblick auf manche Thatsachen nicht von der Hand zu weisen. So hat man z. B. oft Gelegenheit, in Infusionen gewisse am Vorderende mit einer mächtigen Cilie versehene Flagellaten zu beobachten. Sie gleiten langsam und gleichmässig durch das Gesichtsfeld dahin, während die geradeaus gerichtete Cilie nur an ihrer Spitze tastende und züngelnde Bewegungen ausführt. Nur zuweilen zieht sie sich ihrer ganzen Länge nach ruckweise zusammen und schnellt dadurch das ganze Thier zur Seite. Offenbar ist hier die gleichmässige gleitende Bewegung des Organismus in keiner Weise durch die Bewegung der Cilie bedingt.

Auch an den verschiedenen Theilen der Oberfläche eines Schwärmerkörpers kann sehr wohl die Intensität der Oberflächenspannung eine

1) Botan. Zeitung 1879. S. 49. 2) Ebenda 1880.
3) Biologisches Centralblatt. Bd. 5. Nr. 12. 1885.
4) Gattungen einzelliger Algen. 1849. S. 22.

ungleiche sein. Das wird sogar durch den auffallenden monopolaren Bau derselben nahegelegt. Das vordere Ende, welches die Cilie trägt, ist farblos, mehr oder weniger zugespitzt, das hintere verdickt und abgerundet und allein mit Chlorophyll versehen. Trotzdem kann es aber keinem Zweifel unterliegen, dass die Ortsbewegung der Schwärmer zum grössten Theil der Thätigkeit der Cilien zuzuschreiben ist.

Wie nun diese Bewegung ihrer Richtung nach durch äussere Verhältnisse beeinflusst werden kann, darüber lässt sich eine Vorstellung gewinnen, wenn wir annehmen, dass durch letztere die Spannungsverhältnisse an der Schwärmeroberfläche in bestimmter Weise modificirt werden. So also durch einseitige Beleuchtung, einseitige Erwärmung und besonders einseitig herandiffundirende gelöste Substanzen, wie die interessanten neueren Untersuchungen von Pfeffer[1]) des Näheren gezeigt haben. Nach diesen reagiren die Samenfäden der Farne und Selaginellen auf Aepfelsäure, die der Laubmoose auf Rohrzucker, während die Schwärmer der Saprolegnien von den aus todten Nährsubstraten herausdiffundirenden Substanzen, Bacterien nach Engelmann auch von einer Sauerstoffquelle angezogen werden.

Für die männlichen Schwärmer von Fucus, Cutleria, Ectocarpus siliculosus, Scytosiphon und anderer Formen ist die Natur der anlockenden Substanzen noch nicht näher aufgeklärt. Gerade diese Untersuchungen sind es, welche aufs Nachdrücklichste für unsere Auffassung sprechen. Wie wir uns aber im Einzelnen hierbei die Mechanik zu denken haben, darüber fehlen alle thatsächlichen Anhaltspunkte. Eine eingehendere Discussion verschiedener denkbarer Möglichkeiten dürfte aber nach Allem was wir bisher ausgeführt haben überflüssig sein. Darauf hinzuweisen ist nur noch, und das gilt auch für die vorhergehenden Erörterungen, dass auch hier in der Regel immer wieder Auslösungsvorgänge, eingeleitet durch den von aussen kommenden Impuls, vorliegen werden. Das ist nicht ausser Acht zu lassen, wenn es sich darum handelt, den negativen Erfolg zu verstehen, den in Pfeffer's Versuchen viele Substanzen ergaben, wenn sie von einer Stelle aus herandiffundirten, da wir doch im allgemeinen annehmen dürfen, dass jede Polarität in der Zusammensetzung des Mediums auch für die Grösse der Oberflächenspannung eingesenkter Massen nicht ohne Bedeutung sein wird. Handelt es sich um Auslösungsvorgänge, dann ist die Nothwendigkeit specifischer Reizmittel natürlich, damit hinreichend intensive Kräfte frei gemacht werden, um die Bewegung effectiv werden zu lassen. Reizgrösse und Reactionserfolg können dann natürlich in jedem beliebigen Verhältnisse zueinander stehen.

1) Untersuchungen aus dem botan. Institut zu Tübingen. Bd. 1.

VIERTES KAPITEL.

Die Symmetrieverhältnisse in der Zelle.

In Kapitel 2 haben wir versucht auf Grundlage der vorliegenden Thatsachen, sowie theoretischer Ueberlegungen in eingehender Weise eine Vorstellung über die Organisationsmechanik des Plasmakörpers, sowie über seinen feineren Bau zu entwickeln. Es mussten indessen an jener Stelle zunächst gewisse im ersten Kapitel schon berührte Verhältnisse der Symmetrie des Plasmakörpers ausser Acht gelassen werden, deren Besprechung wir erst jetzt wieder aufnehmen und weiter führen können.

Die Ausführungen im ersten Kapitel hatten gezeigt, dass dem lebenden Plasmakörper eine besondere concentrisch geschichtete Structur eigenthümlich ist. Wir fanden freilich an jener Stelle, dass diese Schichtung nicht selten infolge der ungleichmässigen Vertheilung und Massenentwicklung der einzelnen morphologischen Bestandtheile des Protoplasma mehr oder weniger verdeckt wird und sich so dem sicheren Nachweis entzieht.

In allen Zellen, in denen lebhafte Rotations- und Circulationsbewegungen fehlen — zum Theil auch beim Vorhandensein solcher — ist der Plasmakörper und seine einzelnen Organe in nach den Einzelfällen sehr wechselnder aber ganz bestimmter Weise im Zellinnern angeordnet. Wir sehen ihn das eine Mal den Raum mehr oder weniger gleichmässig erfüllen, dann wieder nur in Form eines der Zellwand innen anliegenden Sackes von wechselnder Wanddicke entwickelt, im Innern den wässerig-flüssigen Zellsaft umschliessend u. s. w. So werden wechselnde Partien der Zelle, bald einzelne Seiten, Kanten oder Ecken, bald die Zellperipherie, bald mehr die inneren Regionen von der in ihr eingeschlossenen Plasmamasse bevorzugt. Dabei nehmen im allgemeinen die Differenzirungsproducte des Plasmakörpers, besonders wenn sie nur einzeln oder in geringer Anzahl vorhanden sind und nicht allzu geringe Grösse besitzen, wie Kerne, Chlorophyllkörper u. s. w. ganz bestimmte symmetrische Stellungen in der Zelle und zueinander ein.

Es ist nun hier unsere Aufgabe nachträglich noch zu untersuchen, in wie weit auch diese besonderen Symmetrieverhältnisse mit unserer

Hypothese von der Emulsionsnatur des Protoplasma vereinbar, resp. aus ihr ableitbar sind.

Es ist uns im Plasmakörper ein höchst complicirtes Gemenge mit zahlreichen und verschiedenartigen Differenzirungsproducten gegeben. In seinen sämmtlichen, oder doch in der Mehrzahl seiner individualisirten Bestandtheile, finden mit mehr oder weniger Intensität und für jedes Organ in eigenthümlicher Weise verlaufende chemische Umsetzungen statt. Es werden ferner durch Diffusion fortwährend Substanzen von aussen aufgenommen und umgekehrt nach aussen abgegeben, sowohl von dem Protoplasma der Zelle in seiner Gesammtheit, wie auch von seinen einzelnen Organen und Differenzirungsproducten.

Diese während des Lebens nie ruhenden Stoffwechsel- und Stoffaustauschvorgänge sind es nun, in denen wir den Schlüssel zur Erklärung der vorliegenden Symmetrieverhältnisse zu suchen haben.

Unter den in der Zelle gegebenen Verhältnissen muss der Stoffaustausch immer in ganz bestimmten Richtungen erfolgen und es müssen sich auch dementsprechende Zusammensetzungsdifferenzen in den verschiedenen Schichten und Regionen des Zellprotoplasma ausgestalten.

Wir werden zunächst versuchen müssen, an passend gewählten einfacheren Systemen auf dem Wege rein theoretischer Betrachtung das Wesentliche dessen darzulegen, worauf es hierbei ankommt.

Denken wir uns einen homogenen Tropfen irgend einer Flüssigkeit oder eines Gemisches einer anderen homogenen Flüssigkeit oder Mischung eingesenkt, mit welcher er nicht vollständig mischbar ist. Nehmen wir ferner an, dass zwischen diesem Tropfen und dem Medium Diffusionsvorgänge stattfinden, oder auch, dass in einem von ihnen oder in beiden chemische Umsetzungen vor sich gehen, die weiterhin zu Diffusionsströmungen Veranlassung geben. Beispielsweise, indem entweder einzelne zum Fortgange des Chemismus nothwendige Verbindungen fortwährend von aussen aufgenommen oder andererseits auch entstandene Producte nach aussen abgegeben werden u. s. w.

Zufolge dieser Stoffbewegungsvorgänge wird sowohl unser angenommener Tropfen, wie auch das umgebende Medium bald hinsichtlich seiner Zusammensetzung concentrische Schichtung annehmen, indem dieselbe in der Richtung, in welcher die Diffusionsströme vor sich gehen, allmählich und in gesetzmässiger Weise sich ändern muss. Findet allein Diffusionsaustausch statt, so werden die Zusammensetzungsdifferenzen der einzelnen Schichten nur Concentrationsdifferenzen sein. Anders aber, wenn in dem Tropfen, oder im umgebenden Medium, oder in beiden zugleich chemische Umsetzungen statthaben. Die aufeinanderfolgenden Schichten werden dann auch hinsichtlich ihrer qualitativen Zusammensetzung je nach den Einzelfällen in mehr oder weniger weit gehender Weise differiren müssen.

Denn der Chemismus wird in den einzelnen Schichten infolge der Differenzen, welche das Substrat in ihnen zeigt, einen sehr verschiedenen Verlauf nehmen, Substanzen, die in der einen Schicht sich bildeten, werden in einer anderen weiter umgewandelt und wieder zersetzt werden und so vielleicht vollständig wieder verschwinden können u. s. w.

Wir haben nun im vorigen Kapitel schon gesehen, wie an der Oberfläche eines einem Medium von ungleichmässiger Zusammensetzung eingelagerten Tropfens auch die Grösse der Oberflächenspannung an den verschiedenen Stellen eine ungleiche werden muss, und wie auf diese Weise ein solcher Tropfen die Tendenz erhält, sich in einer dem Zusammensetzungsabfall des Mediums entsprechenden Richtung fortzubewegen.

Wenn wir nun die weitere Voraussetzung machen, es sei dem bisher betrachteten Tropfen wieder eine individualisirte Masse, ein kleineres Tröpfchen etwa, eingelagert und zwar zunächst nur in Einzahl. Wie der grössere Tropfen in seinem Medium, soll dieses secundäre Tröpfchen auch seinerseits in ihm wieder suspendirt und dadurch der Wirkung der Schwerkraft entzogen sein.

Nehmen wir ferner zunächst zur Vereinfachung der Sachlage noch an, in dem secundären Tröpfchen finde kein Chemismus statt und es seien auch Stoffaustauschvorgänge durch Diffusion zwischen ihm und seinem Medium vollständig ausgeschlossen, so wird es je nach den Umständen im Innern des letzteren, also des primären Tropfens, verschiedene Lagerung annehmen müssen. Die Spannung an seiner Oberfläche wird innerhalb des grösseren Tropfens in der Richtung von der Peripherie zum Centrum constant zu- oder constant abnehmen können. Dann wird das Tröpfchen sich der Peripherie anlagern, oder im zweiten Falle in das Centrum begeben und hier seine Ruhelage finden müssen.

Aber es kann je nach der Lage der Verhältnisse auch der Fall eintreten, dass die Spannung von der Peripherie gegen das Centrum zu anfangs wächst und dann wieder abnimmt, oder auch umgekehrt anfangs abnimmt und dann wieder wächst, und es könnte sich dieser Wechsel auf dieser Strecke sogar mehrfach wiederholen. Es würde sich dann zwischen der Peripherie und dem Centrum eine, oder im letzteren Falle auch mehrere Zonen ergeben, in denen der secundäre Tropfen seine Ruhelage finden müsste.

Der secundäre Tropfen wird nun eine feste, constante Ruhelage in seinem Medium annehmen, sobald die Zusammensetzung und Schichtung desselben, trotz der stattfindenden Diffusionsvorgänge und des Chemismus, ungeändert also stationär bleibt. Ist das aber nicht der Fall, so muss es seinen Ort in je nach den Umständen verschiedener Weise und mit wechselnder Geschwindigkeit fort und fort ändern.

In dem speciellen Falle nun, wo der secundäre Tropfen sich nicht in das Centrum des primären begibt, sondern mehr oder weniger der

Peripherie benachbart excentrische Lage annimmt, wird er durch sein Vorhandensein allein schon die ursprüngliche Symmetrie im primären Tropfen in fundamentaler Weise beeinflussen müssen. Bei fehlendem secundären Tropfen wird die Symmetrie desselben unter den angenommenen Verhältnissen eine durchaus radiäre sein, in dem vorliegend angenommenen Falle aber werden auf dem Radius, auf welchem der secundäre Tropfen lagert, die Diffusionsvorgänge resp. der Chemismus mehr oder weniger bedeutende Störungen erleiden müssen, in deren Gefolge die radiäre Symmetrie des primären Tropfens sich zu einer monopolaren, dorsiventralen umgestalten muss.

Denn während bei fehlendem secundären Tropfen die entsprechenden Stellen gleicher Zusammensetzung im kugligen primären Tropfen in Form concentrischer Hohlkugeln angeordnet waren, reduciren sich dieselben jetzt auf Kreislinien, deren jede in allen ihren Theilen gleich weit vom Centrum des secundären und auch des primären Tropfens entfernt sein muss. Denn die in dem primären Tropfen hervorgebrachten Störungen müssen sich seiner radiären Symmetrie wegen in gleichen Abständen von dem secundären Tropfen mit gleicher Intensität geltend machen. Die kreisförmigen Schnittlinien zweier um die beiden Centra beschriebenen Kugelsysteme stellen also in dem System die homologen Punkte gleicher Zusammensetzung dar. Diese Schnittlinien stehen aber wie klar senkrecht auf der die Centra des primären und des secundären Tropfens verbindenden Linie, welche darum zur Symmetrieachse des Systems wird. Da, wo sie die Oberfläche des primären Tropfens durchschneidet, liegen die Pole des Systems. Die beiden Pole sind von verschiedenem Werth, da die Störungen, welche der secundäre Tropfen hervorruft, sich des wesentlich verschiedenen Abstandes wegen an beiden in sehr ungleichem Masse geltend machen müssen. Das System besitzt infolge dessen monopolare Symmetrie, ist ein dorsiventrales in der Richtung der Achse, in der Richtung senkrecht zu ihr ist es aber radiär.

Wir haben bisher der Einfachheit wegen vorausgesetzt, dass zwischen dem primären und dem secundären Tropfen ein Diffusionsaustausch nicht stattfinden, und dass der letztere sich auch am Chemismus nicht betheiligen soll. Wenn wir jetzt diese Beschränkung fallen lassen, so werden dadurch doch die Symmetrieverhältnisse des Systems im allgemeinen eine wesentliche Umgestaltung nicht erfahren können. Dagegen wird, caeteris paribus, die Zusammensetzung in den entsprechenden Zonen Aenderungen erfahren müssen. Welcher Natur dieselben aber sein werden, hängt in jedem Einzelfalle von den besonderen Umständen ab, die der Natur der Sache nach nicht näher discutirbar sind. Der schliessliche Erfolg wird im wesentlichen aber nur der sein können, dass der Ort des secundären Tropfens sich auf der Symmetrieachse mehr oder weniger verschieben muss. Die Lage dieser Achse

selber, sowie der monopolare Bau des Systems wird dadurch aber nicht weiter alterirt werden. Nur in einem Specialfalle würde das eintreffen, wenn nämlich die Verschiebung des secundären Tropfens dahin führte, dass er in das Centrum des primären rücken müsste. Das System würde dadurch natürlich wieder zu einem vollkommen radiären werden.

So lange in allen den zuletzt besprochenen Fällen der secundäre Tropfen excentrische Lage einnimmt, muss auch seine Symmetrie nothwendiger Weise eine dorsiventrale in der Richtung der Symmetrieachse des Systems werden, da sein Stoffaustausch sich nach den entgegengesetzten Seiten derselben wesentlich verschieden gestalten muss, wegen der entsprechenden Zusammensetzungsdifferenzen im umgebenden Medium.

Wir wollen nun weiter annehmen, es sei in dem primären Tropfen neben dem ersten noch ein zweiter secundärer vorhanden von gleicher Zusammensetzung und gleicher Grösse wie der erste. Beide werden sich unter diesen Umständen in gleichen Entfernungen vom Centrum des primären Tropfens anordnen und die von ihnen in ihm hervorgerufenen Störungen müssen sich symmetrisch um beide vertheilen. Es muss infolge dessen jede Schnittebene des primären Tropfens, welche der Verbindungslinie der Centren der beiden secundären parallel verläuft, durch eine Ebene, welche in der Mitte dieser Verbindungslinie senkrecht zu ihr errichtet ist, in zwei nach ihren Symmetrieverhältnissen sich spiegelbildlich entsprechende Hälften getheilt werden. Da diese halbirende Ebene unter den von uns gemachten Voraussetzungen durch das Centrum des primären Tropfens gehen muss, so halbirt sie den letzteren. Und da ferner die sich entsprechenden Punkte im System auch gleiche Entfernung vom Centrum des primären Tropfens haben müssen, so können dieselben nur in solchen Ebenen liegen, die der Verbindungslinie der Centra der secundären Tropfen parallel verlaufen und senkrecht stehen zu der Verbindungslinie des Centrums des primären Tropfens mit dem Mittelpunkte der die Centra der beiden secundären verbindenden Geraden.

In jeder solchen Ebene werden nun im allgemeinen immer die Punkte gleicher Zusammensetzung zu je vieren zusammengeordnet sein. Dieselben werden gleichweit vom Centrum der kreisförmigen Ebene entfernt und in verschiedenen Quadranten liegen. Sie reduciren sich auf zwei in der Schnittlinie mit der Hauptsymmetrieebene des Systems, sowie in der Richtung des senkrecht zu ihr stehenden Durchmessers, wie die geometrische Betrachtung ebenfalls sofort ergibt.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass im allgemeinen das entstehende System wieder ein monopolares ist und zwar geht seine Symmetrieachse durch das Centrum des primären Tropfens und durch den Mittelpunkt der die Centra der beiden secundären verbindenden Linie. In der Richtung senkrecht zu dieser Symmetrieachse ist das System

aber in diesem Falle ein bilaterales, nicht ein radiäres, wie beim Vorhandensein eines einzigen secundären Tropfens und zwar nimmt die Symmetrieebene, wie wir sahen, die Achse auf und steht senkrecht auf der Verbindungslinie der Centra der beiden secundären Tropfen.

Es fragt sich nun noch, welche Lage werden die beiden secundären Tropfen zueinander einnehmen? Infolge ihres Einflusses auf die Symmetrie des Systems muss auch die zwischen beiden gelegene Masse in verschiedenen Entfernungen von beiden verschiedene Zusammensetzung besitzen. Es handelt sich also darum, in welcher Weise diese Differenzen auf die Spannung an der Oberfläche der beiden secundären Tropfen einwirken. Je nach den hier möglichen Variationen werden die Tropfen sich indifferent zueinander verhalten, oder sich voneinander entfernen, oder auch sich nähern können. Im letzteren Falle würden sie sich schliesslich nebeneinander lagern und unter Umständen verschmelzen können, im anderen würden sie aber diametral entgegengesetzte Punkte auf der Symmetrieachse aufsuchen müssen. Unter diesen Umständen würde das System aus einem dorsiventralen zu einem bipolaren werden.

Es ist aber schliesslich auch noch der Fall möglich, dass sich die beiden Tröpfchen nur innerhalb gewisser Grenzen anziehen oder abstossen, sodass sie sich in bestimmten nach den Einzelfällen wechselnden Entfernungen voneinander halten werden.

Schliesslich wird auch hier wieder eine weitere Folge die sein müssen, dass sich die Zone, der die beiden secundären Tröpfchen eingelagert sind, in dem primären Tropfen mehr oder weniger nach aussen oder nach dem Centrum zu verschieben wird.

Lassen wir nun die Zahl der secundären Einlagerungen sich auf drei, vier oder mehr steigern, so bleiben auch jetzt die Verhältnisse im wesentlichen die gleichen. Die Tropfen können sich ebenfalls je nach den Einzelfällen gegenseitig anziehen und dann zusammentreten, oder abstossen und dann gleichmässig in der Zone, der sie eingelagert sind, vertheilen. Drei werden unter diesen Umständen sich nach den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks, vier tetraedrisch anordnen müssen u. s. w. Aber es ist auch hier wieder der Fall denkbar, dass sich die secundären Tropfen nur bis auf bestimmte Entfernungen hin anziehen oder abstossen, dann müssen sie sich irgendwo in bestimmter Weise gruppiren und den übrigen Theil des primären Tropfens frei lassen.

Je nach der verschiedenen Vertheilungsweise würde in diesen Fällen das System eine tri-, tetra-, polypolare Symmetrie annehmen, im zuletzt angeführten Falle der Gruppenbildung sämmtlicher secundären Tropfen an einer begrenzten Stelle aber wieder ein monopolares werden müssen.

Es lässt sich aber schliesslich unter den gegebenen Verhältnissen in entsprechender Weise auch noch die Möglichkeit einer weiteren An-

ordnungsweise der secundären Tröpfchen begründen. Sie könnten sich nämlich noch zu mehr oder weniger zahlreichen kleineren Gruppen vereinigen, die nun ihrerseits untereinander wieder die verschiedenen oben besprochenen Anordnungsweisen zeigen könnten. Denn es spricht nichts gegen die naheliegende Annahme, dass, indem sich die Zahl der zu einer Gruppe zusammentretenden Tröpfchen mehr und mehr steigert, damit sich auch der Einfluss, den diese Gruppe als Ganzes auf die Umgebung ausübt, modificiren muss, sodass schliesslich der Fall eintreten kann, dass von einem bestimmten Moment an alle weiteren secundären Tröpfchen von ihr abgestossen werden, während sie doch bisher angezogen wurden. Je nach den Einzelfällen würden solche Gruppen von verschiedener Grösse sein können.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, dass die Symmetrie- und Schichtungsverhältnisse, welche durch die secundären Einlagerungen in dem primären Tropfen hervorgerufen werden, störend auf diejenigen Symmetrieverhältnisse einwirken, welche aus den unmittelbaren Beziehungen dieses Tropfens zur Aussenwelt sich ergeben. Je nach den Umständen wird nun der Einfluss derselben ein mehr oder weniger weitgehender sein können, und es lässt sich leicht vorstellen, dass unter bestimmten Verhältnissen, besonders wenn die Beziehungen des primären Tropfens zum umgebenden Medium wenig ausgiebige und innige sind, schliesslich durch die secundären Schichtungssysteme das primäre des ursprünglichen Tropfens vollständig unterdrückt werden kann. Es liegt auf der Hand, was in diesem Falle eintreten muss. Die Anordnung der secundären Tropfen wird sich ohne Rücksicht auf irgendwelche concentrische Schichtung im primären Tropfen nur nach ihren Beziehungen unter sich ausgestalten müssen. Sie werden sich also im Raum desselben in verschiedener Weise vertheilen können. Einzeln oder in Gruppen zusammengeordnet, gleichmässig durch das ganze Innere oder auch in verschiedenerlei, unseren obigen Ausführungen entsprechenden Gruppirungen irgendwo an einer begrenzten Stelle desselben.

Sind nun ausser den bisher angenommenen in unserem primären Tropfen noch weitere Einlagerungen anderer Natur vorhanden, so werden sich dieselben im allgemeinen in einer anderen Zone desselben einfinden müssen, als die bisher besprochenen, entweder innerhalb oder ausserhalb der letzteren. Sie werden ferner, wie anzunehmen ist, auch die Lagerung jener nicht unbeeinflusst lassen, ihre Zone in bestimmter Weise in peripherischer oder centraler Richtung verschieben, unter Umständen auch deren Vertheilungsweise innerhalb ihrer Zone modificiren können u. s. w.

Im Uebrigen werden solche Einlagerungen zweiter oder dritter Natur sich zueinander wieder ebenso verhalten können, wie das oben ausführlich erörtert worden ist. Und sie werden ferner in mannigfaltigster

Weise zu den erstbesprochenen Einlagerungen in Beziehung treten können, entweder sich diesen gegenüber indifferent verhalten, oder sich möglichst von ihnen zu entfernen, oder sich ihnen zu nähern suchen, oder auch in gewissen, bestimmten Entfernungen von ihnen sich anordnen können. Es werden auf diese Weise sich gemischte Gruppen bilden, die sich ihrer Umgebung gegenüber als einheitliche Centra verhalten und selber wieder untereinander abstossend, oder bis auf gewisse Entfernungen hin anziehend aufeinander wirken können u. s. w.

Es wäre überflüssig, die verschiedenen theoretisch construirbaren Möglichkeiten an dieser Stelle noch weiter auszumalen, da ja der Natur der Sache nach alle diese Ausführungen ohne thatsächliche exacte Grundlage, und darum auch etwas vager und unbestimmter Natur bleiben müssen.

Jeder Gleichgewichtszustand, der sich unter bestimmten Verhältnissen gebildet hat, kann nur dann ein dauernder sein, wenn das betreffende System sich in einem stationären Zustande befindet. Jede Aenderung seiner Zusammensetzung nach irgend einer Richtung, seines Chemismus der Intensität der statthabenden Diffusionsvorgänge, oder auch der Grösse und Zahl der Einlagerungen, wird auch die Vertheilung der letzteren im System, die gesammte Symmetrie dieses in mehr oder weniger weitgehender Weise modificiren müssen.

Allen unseren bisherigen Ausführungen lag die Voraussetzung zu Grunde, dass das angenommene System radiäre äussere Form, also Kugelgestalt besitze und einem homogenen Medium eingetaucht sei. Das ist nun ein in der Wirklichkeit bei Organismen und Theilen von solchen ziemlich selten vorkommender Fall.

Es ist darum von besonderer Wichtigkeit, auch noch rein theoretisch zu untersuchen, wie sich die Verhältnisse gestalten können, wenn die äussere Form des Systems eine anisodiametrische ist, oder auch wenn das umgebende Medium nach den verschiedenen Seiten ein ungleichmässiges wird.

Wir werden uns auch hier auf die Besprechung möglichst einfacher Specialfälle beschränken müssen, wollen darum zunächst annehmen, es sei — bei homogenem äusseren Medium — ein System gegeben, welches etwa die Gestalt eines zweiachsigen Ellipsoids besitze, wie wir es in der Natur annähernd bei Penien und ähnlichen Formen verwirklicht finden.

Dann muss zunächst der Stoffaustausch durch Diffusion an den Endpartien viel rascher und vollständiger erfolgen können, als an den mehr central gelegenen, denn das Verhältniss der Oberfläche zur Masse ist an den ersteren ein wesentlich günstigeres, da die Dicke hier eine viel geringere ist. Schon dadurch muss der Chemismus in den polwärts gelegenen Partien in ganz andere Bahnen gelenkt werden können, als in

den centralen. Es ist aber zweitens auch die Stellung der einzelnen Glieder des Systems zu einander, auch dann, wenn sie gleich weit von der Oberfläche entfernt liegen, jetzt eine wesentlich verschiedene, je nachdem sie mehr central oder mehr polwärts liegen.

Wäre darum in einem bestimmten Zeitpunkt die Masse in einem solchen System von ellipsoidischer Form vollkommen gleichmässig vertheilt, so müssen in kurzer Zeit aus den angeführten Gründen Differenzen auftreten, und es muss sich, soweit die Beziehungen zur Aussenwelt unter den betreffenden Verhältnissen für die Symmetrie Bedeutung besitzen, in der Masse bald eine Polarität ausbilden, die ihrer Lage nach der Symmetrie der äusseren Form des Systems entspricht. Ein einziger ihr eingelagerter Tropfen wird unter diesen Umständen einen zur äusseren Umgrenzung symmetrisch gelagerten Punkt im Innern aufsuchen und darum in dem vorliegenden Specialfall irgendwo in der Aequatorialebene oder an einem der Pole, oder auch auf einem Punkte der Symmetrieachse sich einfinden müssen.

Zwei Einlagerungen werden sich in ähnlicher Weise symmetrisch in der Aequatorialebene, in der Achse, oder in einem die letztere aufnehmenden Hauptschnitt vertheilen müssen. Wie sich die Verhältnisse in complicirteren Fällen und unter den verschiedenen Umständen gestalten können, ist in diesen Fällen natürlich kaum zu verfolgen, eine ausführlichere rein hypothetische Behandlung aber auch von zu geringem Interesse, nachdem wir auf den vorhergehenden Blättern das Principielle der hier in Betracht kommenden Fragen hinreichend erörtert haben. Wir brauchen hier darum auch andere, in der Natur vielfach realisirte Formen zunächst nicht näher zu besprechen, und können uns damit begnügen, noch darauf hinzuweisen, dass, sobald der Querschnitt solcher Körperformen kein radiärer ist, auch die so sich ergebenden Polaritäten in der äusseren Gestalt von Einfluss auf die Symmetrie des Systems werden müssen. So wenn beispielsweise der Querschnitt ein elliptischer ist, wie bei Cosmarium und anderen Desmidien, oder ein regulär dreiseitiger, wie bei Staurospermum, ein viereckiger, wie bei Diatomeen u. s. w.

Weitere rein theoretische Erörterungen würden in Bezug auf sie ebenfalls müssig sein, wie weit bei den in der Natur vorkommenden Objecten in diesen Fällen der Einfluss der äusseren Form in den Symmetrieverhältnissen des Zellprotoplasma zum Ausdruck kommt, wollen wir weiter unten zu zeigen suchen.

In derselben Weise, wie eine ungleichmässige Ausbildung der äusseren Umrissformen auf die Symmetrieverhältnisse der besprochenen Systeme von Einfluss werden kann, muss das auch für Polaritäten im umgebenden Medium Geltung haben. Denn von der Zusammensetzung desselben in Hinsicht auf Qualität und Quantität erweisen sich die Stoffaustauschvorgänge als noch in weit höherem Grade abhängig.

Durch Ungleichmässigkeiten im umgebenden Medium wird darum in Systemen von vollkommen radiärer äusserer Form polare Symmetrie erzeugt werden müssen, auch wenn die in ihnen selber herrschenden Verhältnisse dazu weiter keinen Anlass bieten. Dort aber, wo in ihnen aus inneren Gründen polare Symmetrie entstanden war, und ferner in den Systemen von polarer äusserer Form, wird sich der Einfluss der Polaritäten des Mediums in mannigfaltigster, je nach den Einzelfällen mehr oder weniger ausschlaggebender Weise mit dem der übrigen Factoren combiniren müssen, mit ihm gleichsinnig oder ihm entgegenwirkend.

Die Ergebnisse der vorstehenden rein hypothetischen Erörterungen genügen, nun, wie mir scheint, zunächst vollständig, um die im Zellprotoplasma auftretende concentrische Schichtung, wie wir sie im ersten Kapitel besprochen haben, zu begründen.

Die Schichten der Grundmasse werden hiernach, wie das auch der Augenschein lehrt, ganz allmählich und unmerklich ineinander übergehen.

Auch für das Bestehen einer untergeordneten, secundären Schichtung um einzelne Organe und einer concentrischen Schichtung im Innern derselben ergeben sich in vielen Fällen Andeutungen in mehr oder weniger ausgeprägter Weise aus der Lagerung und dem Verhalten benachbarter anderer Plasmabestandtheile zu ihnen, resp. der Anordnung, welche Differenzirungsproducte in ihrem Innern zeigen.

So ist bekannt, dass in den Farbkörpern zahlreicher grüner Algen die Stärke zuerst in einer hohlkugligen Zone in der Nähe der Oberfläche der Pyrenoide auftritt, wie Schmitz[1]) gezeigt.

Es hat ferner Schimper[2]) neuerdings eine Anzahl von Florideen namhaft gemacht, bei denen die Stärke in ähnlicher Weise in hohlkugliger Schicht zuerst die Zellkerne umgibt, während sie erst später auch in den übrigen Partien des Zellprotoplasma erscheint. So verhalten sich nach Schimper Nitophyllum laceratum, Callithamnion, Polysiphonia und Chylocladia-Arten. Auch Schmitz[3]) erwähnt schon eine Reihe solcher Formen.

Schmitz hatte aus der erwähnten Anordnung der Stärke bei grünen Algen den Schluss gezogen, dass die Pyrenoide bei der Stärkebildung wesentlich mitbetheiligt seien, Schimper glaubt in entsprechender Weise folgern zu sollen, dass bei den erwähnten Florideen der Zellkern die Substanz liefere, die von dem Protoplasma zu Stärke verarbeitet werde.

Auf Grund der vorhergehenden und besonders auch der im zweiten Kapitel gegebenen Erörterungen, müssen solche rein topographische Be-

1) Die Chromatophoren der Algen. Bonn 1882. S. 37 ff.
2) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 16. 1885. S. 200, 207.
3) A. a. O. S. 153. Anm. 2.

ziehungen meiner Ansicht nach als ganz und gar ungeeignet bezeichnet werden, derartigen Schlussfolgerungen zur Grundlage zu dienen. Ganz besonders aber in dem vorliegenden Falle hinsichtlich der Florideen, da alle uns über den Vorgang der Stärkebildung bisher bekannt gewordenen Thatsachen sich vereinigen, um den Schluss Schimper's als unzulässig erscheinen zu lassen.

Einen Beweis für die eigenthümlichen Zusammensetzungs- und Schichtungsverhältnisse, welche Organe um sich erzeugen können, haben wir auch darin zu finden, dass bei manchen Algen, besonders Diatomeen und Conjugaten, die Farbkörper in der Umgebung des Zellkernes besondere Lagerungs- und Formverhältnisse zeigen. Wir kommen darauf im nächsten Kapitel noch einmal wieder zurück, hier mag darum nur erwähnt werden, dass die Farbkörper in der Nähe des Zellkernes bei diesen Objecten entweder stark eingeschnürt, wie bei manchen Mougeotia- und Mesocarpusarten, von Diatomeen beispielsweise bei Amphora ovalis Ktz., oder auch vollständig durchschnitten sind, sodass sie zu beiden Seiten des Zellkerns zwei getrennte Einzelkörper oder Gruppen bilden, wie bei den meisten Desmidieen und zahlreichen Diatomeen.

Das in den lebenden Zellen gegebene System ist immer ein hoch complicirtes, die einfachsten der oben theoretisch behandelten Fälle finden wir darum in der Wirklichkeit nie vertreten. Auch Zellen von vollkommen radiärer äusserer Form sind ziemlich selten, es finden sich aber doch einige, die besonders schöne und regelmässige Symmetrieverhältnisse zeigen. So die vollkommen kuglige, von Schmitz[1]) näher beschriebene Halosphaera. Dieselbe besitzt einen einfachen Wandbeleg, welchem die einzelnen Chlorophyllkörper und zahlreiche Zellkerne in gleichmässiger Vertheilung eingelagert sind. Auch die oft beinahe vollkommen kugligen jungen Exemplare von Valonia macrophysa zeigen ein entsprechendes Verhalten der Kerne und Chlorophyllmassen.

In vierkernigen kugligen Zellen lagern sich die Kerne tetraëdrisch zu einander, so in zahlreichen Pollen- und Sporenmutterzellen von Phanerogamen, Gefässcryptogamen, Moosen und Algen unmittelbar vor der Viertheilung, ebenso auch in einer vierkernigen Halosphaera.

Zwei Kerne stellen sich diametral gegenüber in den zweikernigen Stadien derselben Zellen, in sich theilenden thierischen Eiern u. s. w.

Monopolare Symmetrie bei radiärer oder annähernd radiärer äusserer Form finden wir in der einkernigen Halosphaera, bei Volvocineen, wie Chlamydomonas, Chlamydococcus, vielen Palmellaceen. In diesen

---

1) Mittheilungen der zoolog. Station zu Neapel. Bd. 1.

Fällen ist dieselbe bedingt durch den in Einzahl vorhandenen und excentrisch gelagerten Kern, oft auch zugleich durch den ebenfalls in Einzahl vorhandenen Chlorophyllkörper. So liegt bei Chlamydomonas der Kern einseitig im hyalinen Vorderende, der Chlorophyllkörper in der entgegengesetzten Partie der Zelle. Ganz Aehnliches findet sich bei vielen Palmellaceen, in Betreff welcher hier auf die neueren Angaben bei Schmitz[1]) verwiesen werden kann.

Da aber, wie oben schon hervorgehoben, Zellen von vollkommen radiär ausgebildeter äusserer Form gar zu selten sich finden, so werden wir unseren weiteren Ausführungen im Folgenden zweckmässiger die regelmässig ausgebildeten polaren Zellformen zu Grunde legen und daran die Besprechung der übrigen, weniger regelmässig gebauten Formen anschliessen, sowie aller der im Organismus so gewöhnlichen Fälle, in denen auch das Medium nach den verschiedenen Richtungen ein verschiedenes ist.

In bipolaren Zellformen, mögen sie nun cylindrische, ellipsoidische, parallelepipedische oder andere Gestalten haben, wie etwa Closterien, Epithemien u. s. w., liegt der in Einzahl vorhandene Zellkern in der Regel in der Aequatorialebene, central oder auch einseitig verschoben. Central finden wir ihn hier bei den meisten Desmidieen, vielen Diatomeen, bei Spirogyra nitida[2]) und anderen Spirogyra-Arten, in ellipsoidischen Pilz- und Flechtensporen. Einseitig oder der Membran genähert liegt er bei kleinen Spirogyren, Ulothrix, Draparnaldia, Conferva, Callithamnion, in den Internodialzellen von Ceramien u. s. w. Auch die dorsiventralen Closterien und Diatomeen schliessen sich hier an. Ganz entsprechend bildet auch der in Einzahl vorhandene Chlorophyllkörper ein äquatoriales, hohlcylindrisches Band bei Ulothrix, Draparnaldia, Chaetophora und anderen Formen. Es kommt aber auch vor, dass der einzeln vorhandene Kern, oder auch die Hauptmasse des Plasmakörpers in solchen Zellen von bipolarer Form in der Nähe eines der Pole, aber symmetrisch zum gesammten Zellraum gelagert ist. So führt Pfitzer[3]) an, dass in den ruhenden Zellen von Melosira varians der Zellkern einer der Querwände, und zwar der jeweils älteren derselben, constant angelagert ist. In den cylindrischen Fadenzellen mancher Chantransien, ferner bei Myrionema und Ralfsia findet man Chlorophyllkörper und Kern, sammt der Hauptmasse des Zellprotoplasma, oft der oberen, dem Lichte zugewandten Querwand der Zelle angeschmiegt, während im übrigen Raum der Zelle nur ein geringer Wandbeleg vorhanden ist.

1) Chromatophoren. S. 17.

2) Anmerk. Diese und andere Fadenalgen mögen hier gleich mit besprochen werden, obwohl die Zellen an den Querwänden den Plasmakörper der benachbarten Zellen, also ein wesentlich anderes Medium als an den freien Längswänden berühren.

3) Hanstein's botan. Abhandlungen. Bd. I. 2. Heft. S. 129. Taf. VI.

Bei centraler Lagerung des Kernes gruppiren sich die übrigen Inhaltsbestandtheile in allen diesen Zellen symmetrisch zu beiden Seiten desselben. Besonders auffallend wird das, wenn solche bedeutende Grösse besitzen und nur in Zweizahl vorhanden sind. So die grossen Chlorophyllkörper bei Zygnema, Penium, Closterium, Mesocarpus u. s. w., ferner auch die Endvacuolen verschiedener Desmidieen und stark lichtbrechende grössere Tropfen, die sich öfter in Diatomeen finden, die Oeltropfen vieler ellipsoidischer Pilz- und Flechtensporen, die hier beiderseits in den Brennpunkten liegen.

Bei radiärem äusseren Querschnitt ist die Symmetrie auf demselben theils ebenfalls radiär, theils polar, wie schon einige der oben genannten Beispiele beweisen.

Bei polarer äusserer Form sehen wir in der Regel auch polare Symmetrie entwickelt in je nach den Einzelfällen wechselnder Weise. So zeigen die Cosmarien und andere Desmidieen, deren Zellhälften einen elliptischen Querschnitt besitzen, auch eine ausgeprägt bipolare Anordnung des Plasmakörpers auf demselben. Staurospermum, dessen Querschnitt regelmässig dreiseitig ist, zeigt ebenso tripolare Symmetrie. Die Diatomeen mit viereckigen Querschnittsformen zeigen Aehnliches, so Navicula, Pinnularia u. s. w. Nur die Gürtelbandseiten sind in der Regel mit Farbkörpern belegt, während die Schalenseiten mehr oder weniger vollständig frei bleiben. Ist die Querschnittsform eine monopolare, wie bei den dorsiventralen Formen Cymbella, Amphora, Epithemia, so entspricht derselben auch eine monopolare Symmetrie der Plasmakörper, wie die von Pfitzer a. a. O. Taf. IV gegebenen Abbildungen zeigen. Die Farbkörper liegen entweder nur an der Rücken- oder nur an der Bauchseite, oder sind doch in beiden in verschiedener Weise angeordnet. Wir kommen auf den Bau des Zellprotoplasma aller dieser Formen im nächsten Kapitel noch einmal wieder zurück, es mögen darum diese kurzen Bemerkungen über sie an dieser Stelle genügen.

Die äussere Form ist für die Symmetrie des Plasmakörpers nicht allein massgebend, und so finden wir denn, dass die letztere sich oft mehr oder weniger vollständig von ihr unabhängig macht. Während wir z. B. in den Gliederzellen von Spirogyren, Oedogonien, Callithamnien, Moosprotonemen u. s. w. den Kern in äquatorialer Lage, central oder seitlich finden, sind die Chlorophyllkörper, resp. die Chlorophyllbänder bei Spirogyra, gleichmässig über die ganze Aussenfläche der cylindrischen Zellen vertheilt — nur die Querwände zeigen ein durchaus anderes Verhalten.

So finden wir auch in den Gliederzellen von Cladophora, Microdictyon, Anadyomene, Callithamnion corymbosum, Griffithien, Bornetia u. a. m. Kerne und Chlorophyllkörper wesentlich gleichmässig über die freien Aussenwände vertheilt.

Es ist bemerkenswerth, dass, während in den vorstehenden Fällen der einzelne Kern sich der Symmetrie der äusseren Form entsprechend äquatorial lagert, die Chlorophyllkörper das nicht thun. Es ist das aber nicht immer der Fall, wie die früher erwähnten Gliederzellen von Draparnaldia und anderer Chaetophoreen beweisen. Die Zweckmässigkeit der gleichmässigen Vertheilung der Farbkörper über die ganze freie Zelloberfläche leuchtet natürlich ein, die vorliegenden Objecte beweisen aber, dass die die Vertheilung bedingenden Ursachen für die verschiedenen Organe verschiedener Natur sein müssen, resp. sein können, und dass der Kern sehr wohl auf bestimmte Schichtungs- und Symmetrieverhältnisse reagiren kann, denen die Farbkörper nicht folgen und umgekehrt.

Der Einfluss der Verschiedenartigkeit des äusseren Mediums, allerdings im allgemeinen immer in Combination mit dem Einfluss, den ungleiche Ausbildung der Dimensionen nach den verschiedenen Richtungen ausübt, kommt am ausgeprägtesten und immer bei allen im Gewebeverbande befindlichen Zellen zur Geltung, mögen nun Zellfäden oder flächen- oder körperförmige Aggregate vorliegen.

Bei Fadenalgen sind fast immer die Querwandflächen farbstofffrei und in der Regel auch mit einem viel dünneren Plasmabeleg ausgestattet. Bei Bornetia, den Griffithien sind die Farbkörper hier wenigstens viel spärlicher und von bedeutend geringerer Grösse als auf den freien Seitenwänden.

In den Zellen der Farnprothallien und Moosblätter sind ganz entsprechend unter den normalen Verhältnissen wesentlich nur die freien Aussenflächen mit Farbkörpern bedeckt.

Sehr ausgeprägt ist die monopolare Symmetrie, welche der Plasmakörper in den Epidermiszellen von Gewebekörpern annimmt. Bei Polysiphonien, Punctaria, Asperococcus, den Dictyotaceen u. s. w. finden wir oft den ganzen assimilirenden Apparat auf der Aussenfläche der Zellen vor, auch hier wie in den meisten übrigen Fällen wesentlich gleichmässig über die ganze Fläche vertheilt.

Es kommt allerdings auch gar nicht selten vor, dass normaler Weise — also abgesehen von den Verhältnissen, die durch abnorme und ungünstige Vegetationsbedingungen und äussere Agentien, wie z. B. sehr intensive Beleuchtung hervorgerufen werden können — die Vertheilung der Farbkörper und der gesammten Plasmamasse eine durchaus entgegengesetzte ist. So liegt bei Polysiphonia platyspira die Hauptmasse der Farbkörper an den Seitenwänden der Pericentralzellen, während an den freien Aussenwänden nur ganz winzige und verblasste auftreten. So liegt ferner in den Ringzellen der jungen Sporangien von Aspidien die Hauptmasse des Plasma der nach innen gerichteten Zellwand an. Dieselbe Vertheilung des Plasma fand ich in den Zellen des Sporangien-

stiels von Marsilea, sowie in den keulenförmigen Drüsen von Cleome viscosa, die beide aus drei — bei der letzteren auch aus zwei — nebeneinanderliegenden Zellreihen bestehen.

Die verschiedenen Seitenwände der Zellen in flachen und körperförmigen Zellaggregaten sind naturgemäss im allgemeinen ebenfalls von ungleichem Werthe und es zeigen darum die überdeckenden Plasmabelege oft sehr verschiedenartige Ausbildung. Indessen erweisen sich auch hier die Symmetrieverhältnisse im Plasma von der äusseren Form der Zelle oft als durchaus unabhängig. Das beweisen z. B. die Epidermiszellen vieler Blumenblätter, in denen sich nach innen vorspringende Celluloseleisten in ganz gleichmässiger Weise über den Umfang vertheilt finden, mögen die Zellen gestreckte oder mehr isodiametrische Formen besitzen.

Wir haben im Vorstehenden schon gelegentlich vielfach auf die Symmetrieverhältnisse hingewiesen, wie sie hinsichtlich der Vertheilung des Gesammtplasmakörpers innerhalb der Zelle zum Ausdruck kommen. In Zellen mit einfachem Wandbeleg findet man denselben nicht selten in den Zellecken besonders stark entwickelt. So fand ich im Blatt von Sempervivum Parmentieri sämmtliche Chlorophyllkörper in den Zellecken, den Intercellularräumen angelagert, ebenso im Mark des jungen Sprosses von Magnolia Norberti, die mit Stärke erfüllten Leucoplasten.

Es könnte freilich in solchen Fällen der Grund für eine solche Vertheilungsweise ein rein mechanischer sein, indem schon das Abrundungsbestreben des Zellsaftes die Hauptmasse des Wandbelegs nach den vom Centrum der Zelle entferntesten Punkten, also in die Ecken und Kanten treiben könnte. Sicherlich sind solche rein mechanische Gründe wesentlich allein massgebend, wenn wir in absterbenden Zellen ganz allgemein den Wandbeleg entsprechende Lagerung annehmen sehen. Wie weit das aber auch für die vorliegenden lebenskräftigen Zellen zutrifft, ob und wie weit die durch die Stoffaustausch- und Stoffwechselvorgänge mittelbar bedingten Symmetrieverhältnisse in diesen Fällen mit in Betracht kommen, lässt sich natürlich nicht entscheiden.

In sehr auffallender Weise machen sich die polaren Symmetrieverhältnisse im Plasmakörper besonders auch dann oft bemerkbar, wenn derselbe polycentrische Structur besitzt, mag dieselbe nun eine schaumige oder eine gerüstförmige sein.

Wir haben im vorigen Kapitel versucht darzulegen, wie die Bildung von Pseudopodien frei in das Medium hinein physikalisch aufgefasst werden kann. Da der Zellsaft unter den in einer Zelle mit ruhendem Plasmakörper gegebenen Umständen jedenfalls nicht als eine homogene, sondern als eine concentrisch geschichtete Mischung aufzufassen ist, so

ist es verständlich, dass auch in ihn hinein vom Wandbeleg aus Pseudopodienbildung statthat. Ob und in welcher Ausdehnung diese aber erfolgen wird, hängt von den im Specialfalle herrschenden Umständen ab. In manchen Fällen finden wir bekanntlich fast die gesammte Plasmamasse einer Zelle im Innern, suspendirt an mehr oder weniger zahlreichen Plasmafäden oder Platten, der Wand anliegend aber nur einen minimalen Beleg. So z. B. in den Epidermiszellen von Tradescantia, Orchideen und besonders oft und gut ausgeprägt in parenchymatischen Geweben der Phanerogamen bei Beginn der Zelltheilung (Taf. IV, Fig. 8). Die besonderen Modalitäten der concentrischen Schichtungsverhältnisse im Zellinnern werden für diese Anordnung massgebend sein.

Zufolge der Ausbildung polarer Symmetrieverhältnisse in den Zellen werden die Bedingungen für die Ausbildung und die Stabilität von Plasmafäden durch den Saftraum hindurch oft nur in ganz bestimmten Regionen der Zelle gegeben sein können, die polycentrische Structur sich darum auf diese allein beschränken.

So bildet bei vielen Diatomeen der Plasmakörper einen einfachen Wandbeleg, und nur in der Mitte der Zelle findet sich eine dieselbe quer durchsetzende Plasmabrücke, welche den centralen Kern einschliesst. Oft ist dann an dieser Stelle auch der Farbkörper mehr oder weniger von der Membran abgehoben und nach innen gerückt, wie z. B. bei Cymbella-Arten. Es kommt dann nicht selten vor, dass sich die Farbkörper an der Stelle, wo sie den Wandbeleg verlassen, in zwei Lamellen spalten, von denen die eine, meist in Form eines kleineren, dünneren Fortsatzes in wandständiger Lage verharrt. Man vergleiche in Bezug hierauf auch den von Pfitzer, a. a. O. auf Taf. I, Fig. 8 gegebenen Durchschnitt von Suriraya.

Eine entsprechende äquatoriale Plasmamasse findet man auch häufig in jungen Parenchymzellen höherer Pflanzen. Je nach den Querschnittsvariationen der Zelle ist hier, wie bei Diatomeen, entweder eine den ganzen Raum durchsetzende quere Platte vorhanden, oder nur ein Band, welches zwei gegenüberliegende Seiten verbindet, oft auch in Zellen mit monocentrischer Querschnittssymmetrie ein Band, welches einseitig dem Wandbeleg in der Aequatorialebene angelehnt ist.

Bei Spirogyra nitida und anderen Arten der Gattung ist der Kern im Centrum der Zelle in einer Plasmamasse suspendirt, die durch gleichmässig quer oder schräg nach allen Seiten verlaufende Plasmafäden mit dem Wandbeleg in Verbindung steht. Bei einer schönen Conferva, die ich als C. amoena Kg. bestimmt habe, und von der auf Taf. V, Fig. 17 einige Zellen dargestellt sind, um den Bau der Membran zu zeigen, war der entsprechend gelagerte Kern durch einen schaumigen Ring mit dem Wandbeleg verbunden. Derselbe besteht, wie es die Skizze Taf. I, Fig. 10 zeigt, aus ein oder zwei nebeneinanderliegenden

Vacuolen oder auch nur aus einer einfachen dünnen, hyalinen Plasmalamelle. Kurz vor der Zelltheilung wird er bedeutend breiter, in ähnlicher Weise, wie bei Spirogyra zu derselben Zeit die suspendirenden Plasmafäden zahlreicher werden und sich weiter gegen die Enden der Zelle ausbreiten.

Wenn der Zellkern im Wandbeleg einseitig der Membran anliegt, so gehen etwa vorhandene Plasmafäden in der Regel von dem Vorsprung des Wandbelegs aus, der an dieser Stelle gebildet wird. Auch dafür dürften im allgemeinen die besonderen polaren Symmetrieverhältnisse in den Zellen massgebend sein, es ist indessen nicht zu vergessen, dass der Grund dieser Anordnung zum Theil möglicherweise auch ein rein mechanischer sein könnte. Denn an der Stelle, wo der Wandbeleg nach innen in Form eines Buckels vorgetrieben ist, wird die von den Plasmafäden zu überspannende Entfernung geringer als in den übrigen Partien der Zelle, und sie müssen sich darum schon aus rein mechanischen Gründen hier ansetzen, sobald sie das Bestreben haben, möglichst kurz zu werden.

Ganz Aehnliches gilt vielleicht für eine Thatsache bei Spirogyra, auf welche Pringsheim[1]) zuerst aufmerksam gemacht hat, dass nämlich die Plasmafäden, welche bei Spirogyra den Kern suspendirt halten, sich an der Innenseite des die Chlorophyllbänder umgebenden Plasma da ansetzen, wo dieselben durch ein eingelagertes Pyrenoid nach innen vorgetrieben sind. Und umgekehrt würde auch der Ansatz eines solchen Plasmafadens an einer bestimmten Stelle des Chlorophyllbandes in diesem letzteren hier die Entstehung eines Pyrenoids wohl veranlassen können, dadurch dass durch die locale Verdickung des Plasmabandes an dieser Stelle auch eine Verdickung des Chlorophyllbandes und entsprechende weitere Differenzen im Chemismus u. s. w. herbeigeführt werden könnten, welche seine Ausscheidung gerade an dieser Stelle zur Folge hätten.

Es kann auf diese Weise zufolge der besonderen Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers in ihrer Abhängigkeit von der äusseren Form der Zellen und anderen Verhältnissen oft eine sehr zierliche und elegante Vertheilung der das Zellinnere durchsetzenden Plasmafäden zu Stande kommen. So z. B. bei Suriraya, deren Bau Pfitzer[2]) eingehend beschrieben hat. Es würde uns zu weit führen, dieses elegante Object hier eingehend zu besprechen, es mag darum auf Pfitzer's Angaben verwiesen werden, sowie auch auf das Object selber, denn der Bau seines Plasmakörpers variirt, wie ich mich überzeugen konnte, in sehr mannigfaltiger Weise, je nachdem die Zellen mehr oder weniger bedeutende Plasmamengen enthalten, der Farbkörper mehr oder weniger stark entwickelt ist.

---

1) Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 12. S. 304. 2) A. a. O. Taf. I und V.

Die gewöhnlich mehr zurücktretenden untergeordneten concentrischen Schichtungsverhältnisse, welche um dem Plasmakörper eingelagerte Organe und Organgruppen erscheinen, gewinnen in sehr vielen Fällen ganz hervorragende Bedeutung.

So finden wir z. B. in Pollen- und Sporenmutterzellen unmittelbar vor der Theilung, so z. B. besonders schön bei Isoëtes und Anthoceros, von welchen Strasburger [1]) Abbildungen gegeben hat, die vier Tochterkerne von Plasma und Chlorophyllkörpern umgeben an Plasmafäden im Zellinnern suspendirt und die Centra von vier tetraëdrisch angeordneten Plasmaportionen bilden, denen gegenüber die concentrische Symmetrie der Zelle vollständig zurücktritt. Aehnliches kommt in Embryosäcken bei Beginn der Zellbildung vor, wie in dem Kapitel über Zelltheilung ebenfalls eingehender besprochen werden soll, besonders auffallend bei Eranthis, nach den neueren Angaben von Hegelmaier [2]). Der schaumige Plasmakörper erfüllt hier den ganzen Innenraum wesentlich gleichmässig, und enthält in gleichmässiger Vertheilung die zahlreichen Kerne, als Centra ebensovieler, später zu Zellen werdender polyedrischer Plasmabezirke.

Ebenso vertheilen sich auch die Kerne und das gesammte Plasma wesentlich gleichmässig im Innenraum der kugligen Sporangien resp. Gametangien von Derbesia Lamourouxii und Dasycladus clavaeformis. Und auch die Plasmamassen, welche in den Sporangien und Oogonien anderer Algen und Pilze sich zu Schwärmern und Eiern umbilden, welche aber in der Regel den Innenraum der Zelle nicht vollständig ausfüllen, sondern sich in mannigfaltigen Variationen zu Haufen zusammenziehen, verhalten sich ähnlich. Die concentrische Schichtung wird in ihnen vollständig unterdrückt, und es kommt zur Ausbildung gleichmässig angeordneter Territorien mit secundärer concentrischer Schichtung. Nach den Einzelfällen sind diese Bezirke von sehr wechselnder Grösse, je nachdem es sich darum handelt, kleinere Spermatozoen oder grössere ungeschlechtliche und weibliche Schwärmer, Eier u. s. w. zu erzeugen. Des Näheren können wir auf die Einzelheiten, die hierbei in Betracht kommen, erst später im letzten Kapitel eingehen.

Auch in complicirteren plasmatischen Systemen, die sich nicht aus dem Plasmakörper einer einzigen Zelle ableiten, finden wir ganz gewöhnlich entsprechende Verhältnisse wieder. In den Sporangien der Farne, den Mikrosporangien von Marsilea, den Antherenfächern von Phanerogamen zeigen die Sporenmutterzellen oft eine äusserst regelmässige Vertheilung durch den Innenraum, der mit der plasmodiumartigen Masse erfüllt ist, welche sich ableitet aus den vereinigten Plasma-

1) Zellbildung und Zelltheilung. Jena 1875. Taf. VI und 3. Aufl. Taf. X.
2) Nova Acta. Bd. 49. 1. 1885.

körpern der aufgelösten Tapetenzellen. Im Plasma der betreffenden Sporenzellen finden sich die gewöhnlichen Symmetrieverhältnisse entwickelt und die Plasmamasse, welche sie umgibt, zeigt ebenfalls die entsprechenden Schichtungsverhältnisse, sodass die Stärkebildner die Sporenzellen dicht umgeben, die Kerne aber weiter nach aussen liegen. Bei Marsilea und auch in den Farnsporangien besitzt die die Höhlung erfüllende Plasmamasse schaumigen Bau, und es werden vielfach die Vacuolen um so grösser, die sie trennenden Wände um so zarter, je weiter sie von der Oberfläche der Sporen, resp. dem Wandbeleg, der das Fach auskleidet, entfernt sind.

In den Mikrosporangien von Marsilea und in Antherenfächern sind die einzelnen Zellen wesentlich gleichmässig durch den ganzen Raum vertheilt, dagegen sind sie in den Farnsporangien meist zu einer im Centrum liegenden oder einseitig der Wand genäherten Gruppe angeordnet.

Sehr schöne plasmatische Systeme kann man auch beobachten in den kolbig angeschwollenen Enden von Saprolegniaschläuchen, die von mehreren Individuen von Olpidiopsis befallen sind. Wie aus den Untersuchungen und Abbildungen von Pringsheim[1]) und Fischer[2]) bekannt ist, liegen die einzelnen Individuen des Parasiten im Innenraum der Fäden von Protoplasma umgeben und durch zahlreiche Plasmafäden mit dem Wandbeleg verbunden. Während ein einzelnes Individuum gewöhnlich im Centrum der kolbig angeschwollenen Partie liegt, nehmen mehrere ihren Platz näher nach der Peripherie zu ein, und theilen sich hier bei annähernd gleicher Grösse auch ziemlich gleichmässig in den vorhandenen Raum.

Wir werden in den folgenden Kapiteln noch öfter Gelegenheit finden, auf besondere Specialfälle der Zellsymmetrie näher einzugehen; die vorstehenden Ausführungen dürften darum zunächst wohl als genügend erscheinen. Nur auf einen Specialfall müssen wir hier noch besonders eingehen, nämlich auf die eigenthümliche bipolare Symmetrie, welche der Wandbeleg in den Zellen der Characeen auf dem Querschnitt zeigt, und welche, wie die thatsächlichen Verhältnisse zweifellos machen, in ursächlicher Beziehung zu der in den Zellen stattfindenden Rotationsbewegung steht.

Bekanntlich finden sich in den Zellen der Characeen in der Regel zwei sich diametral gegenüberliegende farblose Längsstreifen, die Interferenzstreifen, welche da liegen, wo der auf- und absteigende Rotationsstrom der Zelle sich berühren. Die von den Interferenzstreifen eingenommenen Zonen sind nach den Einzelfällen mehr oder weniger vollständig chlorophyllfrei, darum also farblos. Der Grund dieses Fehlens

1) Jahrbücher f. wiss. Botan. Bd. 2. 1860. 2) Ebenda Bd. 13. 1882.

der Chlorophyllkörper wird nun in gewissen Differenzen in der Ausbildung und Zusammensetzung des Wandbelegs an diesen Stellen zu suchen sein, Differenzen, welche zweifelsohne durch die Lage des Rotationsstromes in der Zelle hervorgerufen sind. Das ergibt sich aus den constanten Beziehungen der Lage, die beide zueinander zeigen, sowie aus der Thatsache, dass die Interferenzstreifen sich in jungen Zellen erst mit dem Beginn lebhafter Strömungsbewegung allmählich ausbilden. Dass solche Differenzen unter den gegebenen Verhältnissen leicht entstehen können, liegt auf der Hand, wenn wir bedenken, dass, während in allen übrigen Theilen der Zelle die inneren Partien des Wandbelegs sammt dem Zellsaft in lebhafter Strömung sind, sie sich dauernd in Ruhe befinden in der Interferenzebene. Es ist begreiflich, wie dadurch in dieser der Chemismus u. s. w. wesentlich modificirt und dadurch die Ausbildung und Zusammensetzung des Wandbelegs wird geändert werden können. Der sichtbare Effect davon ist dann, dass sich die Chlorophyllkörper von hier zurückziehen.

Die Symmetrieverhältnisse der Zellen unterliegen während ihrer Lebensdauer in der Regel einem fortwährenden und mannigfaltigen Wechsel. Monocentrische Plasmakörper werden zu polycentrischen, radiäre zu polaren u. s. w. Es ist das begreiflich, denn wir sehen, wie auch die Organisation des Plasma sich ändert, wie neue Organe, wie die Vacuolen und der Zellsaft auftreten, andere, wie die Farbkörper, sich vermehren, ihre Zusammensetzung ändern, indem z. B. Leucoplasten ergrünen. Auch die Form- und Grössenverhältnisse der Zelle wechseln, und ebenso treten Aenderungen in der Aussenwelt auf, mag dieselbe nun ein äusseres, fremdes Medium, oder mögen es die umgebenden Zellen desselben Organismus sein. Mit den gleichzeitig stattfindenden Variationen des Stoffwechsels und des Stoffaustausches mit der Aussenwelt muss ferner ebenfalls die Bedeutung der für die Symmetrieverhältnisse massgebenden Factoren sich in wesentlicher Weise verschieben.

Es wäre auffallend, wenn unter diesen Umständen das Gleichgewicht innerhalb einer Zelle dauernd unverändert dasselbe bleiben würde. So sehen wir besonders bei der Zelltheilung und bei den Fructificationserscheinungen fundamentale Aenderungen der Zellsymmetrie auftreten, welche wir später vielfach noch näher werden zu behandeln haben.

Bei diesen Aenderungen der Symmetrieverhältnisse erfolgen die Umlagerungen zum Theil durch Massenbewegung, so z. B. wenn in Zellen mit Saftraum der Plasmakörper von der Wand in das Innere oder umgekehrt wandert, oder wenn sich die Hauptmasse des Wandbelegs an einzelnen Stellen der Peripherie anhäuft. Wir haben es dann wieder

mit Plasmabewegungen der Art zu thun, wie wir sie im vorigen Kapitel behandelt haben.

In manchen Fällen dürfte indessen die Bewegung sich hauptsächlich auf einzelne Organe und Organgruppen beschränken, die sich innerhalb der Grundmasse in bestimmten Richtungen fortbewegen, wenn in dieser Aenderungen der Zusammensetzung aufgetreten sind. So sind vielleicht die langsamen Ortsbewegungen, die nach Hanstein's[1]) Beobachtungen der Kern innerhalb der Zelle so häufig zeigt, nicht selten auf solche Eigenbewegungen desselben zurückzuführen. Sicherlich muss auch der Zellkern in vielen einfachen Amöben eine besondere Eigenbewegung besitzen, da er sich im allgemeinen immer in einer bestimmten Region der Zelle hält, während er doch, wenn er passiv den Bewegungen des ihn umgebenden Plasma folgte, mit diesem im centralen Strom von hinten nach vorn, im peripherischen aber wieder von vorn nach hinten zurück getrieben werden müsste.

Im allgemeinen dürften indessen die langsamen Ortsveränderungen, welche Organe im Plasmakörper so gewöhnlich zeigen, auf Glitschbewegung zurückzuführen sein. Die ungleiche Geschwindigkeit, welche dem strömenden Plasma in Zellen mit Circulationsbewegung eingelagerte Körnchen so oft zeigen, dürfte ferner wohl selten ein Anzeichen für selbständige Bewegung derselben, wie Brücke[2]) wollte, sondern vielmehr den ungleichen Widerständen zuzuschreiben sein, welche die verschieden grossen Körnchen auf ihrem Wege finden. Denn es darf nicht vergessen werden, dass die verschiedenen Schichten des Plasmakörpers sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen und dass grössere Objecte schon darum sich in anderer Weise bewegen müssen, als kleinere, und diese letzteren sich in verschiedener Weise, wenn sie verschiedenen Schichten eingelagert sind.

Wie äussere Factoren auf die Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers von Einfluss werden können und müssen, brauchen wir nach allem Vorhergehenden, sowie nach den im zweiten Kapitel über die primäre Angriffsweise derselben auf das Protoplasma gemachten Erörterungen hier der principiellen Fragen wegen in eingehenderer Weise nicht mehr darzulegen.

Hinsichtlich der thatsächlichen Verhältnisse sind unsere Kenntnisse zum grossen Theil noch sehr lückenhafte. Nur über die Wirkungen von Beleuchtungsvariationen liegen eine Reihe eingehenderer Untersuchungen vor, von denen besonders die von Frank[3]) und Stahl[4]) zu nennen sind. Auf die Einzelheiten darüber hier näher einzugehen, wird

1) Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Bonn. 1870. S. 224.
2) Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität.
3) Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 8.
4) Botan. Zeitung 1880.

schon deshalb nicht nöthig sein, weil noch vor kurzem Schimper[1]) eine ausführliche Zusammenstellung des bisher bekannt Gewordenen gegeben hat, auf die wir hier besser verweisen können.

Ueber die Wirkung von Temperaturänderungen, von Chemikalien, der Trennung aus dem Gewebeverbande u. s. w. liegen nur vereinzelte Angaben vor, da diese Fragen bisher in systematischer Weise noch nicht in Angriff genommen worden sind. Dasselbe gilt auch für den Einfluss der Gravitation. Auf das Wenige, was darüber bekannt geworden ist, werden wir weiter unten bei einer anderen Gelegenheit zurückkommen.

Nach Abschluss der vorstehenden Darlegungen dieses Kapitels können wir nun auch auf einige Fragen hinsichtlich gewisser Punkte der Symmetrie und der feineren Structur des Plasmakörpers eingehender zurückkommen, die wir schon in den ersten Kapiteln kurz berührt haben. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um die Frage, in welcher Weise wir uns den Plasmakörper und seine Organe nach aussen, resp. gegen den eingeschlossenen Zellsaft abgeschlossen zu denken, und welche feinere Organisation wir dieser Grenzzone selber zuzuschreiben haben?

Hofmeister[2]) nahm an, dass der membranlose Plasmakörper, wie jede flüssige Masse, gegen das umgebende Medium nur durch ein Oberflächen-Häutchen abgegrenzt sei. Mit Recht haben sich andere Beobachter, besonders Pringsheim[3]), Strasburger[4]), Pfeffer[5]) u. s. w. gegen diese Auffassung ausgesprochen, indem sie zeigten, dass die oberflächlichen Schichten des Plasmakörpers, denen die Namen Hautschicht, Hautplasma, Hyaloplasma beigelegt wurden, sich durch Ausbildung und Verhalten als wesentlich different von den inneren Schichten erwiesen. Nach der Annahme von Brücke[6]), Hanstein[7]), Pfeffer[8]), denen sich neuerdings auch de Vries[9]) angeschlossen hat, überzieht diese Hautschicht den Plasmakörper sowohl an seiner äusseren, dem umgebenden Medium, resp. der Zellmembran zugewandten Seite, wie auch an seiner inneren Grenze gegen den Zellsaft. Es wurde freilich zugegeben, und Pfeffer[10]) hat das neuerdings noch besonders hervorgehoben, dass

1) Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 16. S. 210 ff.
2) Lehre von der Pflanzenzelle. S. 3.
3) Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. Berlin 1854.
4) Studien über das Protoplasma. Jena 1876. S. 29.
5) Osmot. Untersuchungen 1877 und Pflanzenphysiologie. I. S. 31.
6) Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität.
7) Das Protoplasma. Heidelberg 1880. 8) A. a. O. I. S. 32.
9) Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 16. 1885. Heft 4.
10) Botan. Zeitung 1886.

diese innere Hautschicht nicht immer nachweisbar sei. Man sucht sie ganz vergeblich in zahlreichen Zellen, deren Plasmakörper in Form zarter Fäden den Innenraum durchsetzt und Circulationsbewegung zeigt, wie in den Haaren von Tradescantia, Cucurbita, Urtica u. s. w., ferner auf der Innenseite des Wandbelegs der Characeen, bei Vallisneria, Elodea, Trianea u. a. m. Auch Strasburger[1]) hat in seinen Studien schon darauf hingewiesen, dass die in das umgebende Medium hinein gerichteten Pseudopodien der Rhizopoden und Radiolarien an ihrer Oberfläche eine besondere Hautschicht nicht besitzen. Die angeführten Forscher haben bis auf de Vries aber geglaubt, aus theoretischen Gründen trotzdem das allgemeine Vorkommen einer der äusseren homologen Hautschicht auch an der dem Zellsaft angrenzenden Seite des Plasmakörpers annehmen zu müssen.

Es wurden aber bei dieser Auffassung jene concentrischen Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers ganz vernachlässigt, mit denen wir uns im ersten und im vorliegenden Kapitel ausführlich beschäftigt haben, und welche zeigen, dass die der Zellmembran anliegenden Schichten des Plasmakörpers in keiner Weise den Schichten, welche den Zellsaft umgrenzen, homologisirt werden dürfen. Schon die durchaus verschiedenen Consistenzverhältnisse sprachen gegen eine solche Auffassung.

Es hat nun de Vries ganz neuerdings den experimentellen Nachweis zu führen versucht, dass der Zellsaft und die Vacuolen immer von einer membranösen Plasmaschicht umgeben seien. Diese Membran soll beiderseits scharf abgegrenzt sein und bei Plasmolyse durch 10% Salpeterlösung und Färbung mit Eosinlösung immer sichtbar gemacht werden können. Der Plasmakörper stirbt dabei in der Regel langsam und allmählich ab, während sich die „Wand der Vacuolen" als viel resistenter erweist und noch lange am Leben bleibt.

So interessant auch viele der von de Vries erhaltenen Resultate für die Kenntniss des Protoplasmakörpers sind, und bei voller Anerkennung der Thatsache, dass Zellsaft und Vacuolen sehr häufig von membranösen Plasmaschichten umgeben werden, muss ich doch das allgemeine Vorkommen solcher ganz entschieden in Abrede stellen. Das Verfahren von de Vries, solche sichtbar zu machen, kann unmöglich für beweiskräftig angesehen werden. Wie darf man erwarten, bei so rohen Eingriffen in den Plasmakörper, bei einem durch Tage sich hinziehenden Absterben desselben, unveränderte Structuren zu erhalten. Die von de Vries erhaltenen Hüllen der Vacuolen sind sicherlich in vielen, wenn nicht in den meisten Fällen Kunstproducte, Niederschlagsmembranen, wie sie an der Oberfläche jedes Plasmatropfens erscheinen, der z. B. aus einem zerdrückten Vaucheria- oder Bryopsisschlauch in

1) A. a. O. S. 33.

das Wasser austritt, und wie sie auch auf eiweisshaltigen Flüssigkeiten beim Stehen an der Luft und durch andere coagulirende Agentien hervorgerufen werden.

Welche Auffassung haben wir uns aber über die Natur der den Plasmakörper gegen den Saftraum zu abgrenzenden Schichten auf Grundlage der thatsächlichen Beobachtungen, sowie theoretischer Ueberlegungen zu bilden?

Strasburger vertrat in seinen Studien die Ansicht, dass die Pseudopodien der Rhizopoden nur von einem Oberflächenhäutchen überzogen seien. Zweifelsohne muss ein solches aus physikalischen Gründen in diesen und in anderen Fällen vorhanden sein, aber es sind dadurch auch hier die Verhältnisse in den Grenzschichten ihrem Wesen nach noch nicht vollkommen zutreffend präcisirt.

Wir haben anzunehmen, dass auch diese Grenzzonen concentrisch geschichtet sind in der oben dargelegten Weise, dass also auch hier die äusserste Schicht hinsichtlich ihrer Zusammensetzung von allen tieferliegenden sich unterscheiden muss.

Im Uebrigen liegen aber die Verhältnisse nach den Einzelfällen wesentlich verschieden. Durch Coagulation des Eiweisses entsteht in der Berührungszone oft eine Niederschlagsmembran, die „Wand der Vacuolen" von de Vries, die innere Hautschicht der früheren Autoren. So ist sie z. B. häufig genug nachweisbar an der Oberfläche von contractilen Vacuolen bei Amöben und anderen Protozoen. In solchen Fällen ist also das Plasma gegen den Vacuolenraum durch eine Membranschicht glatt abgegrenzt. Mit Pfeffer werden wir aber anzunehmen haben, dass diese Schicht an der Plasmaseite eine scharfe Abgrenzung nicht besitzt, im Gegensatz zu der Auffassung von de Vries.

Es liegt aber kein Grund vor, diese Membran auch da anzunehmen, wo von ihr nichts zu erkennen und nachweisbar ist, ja, wo im lebenden, unverletzten Plasmakörper alle Thatsachen gegen die Existenz einer solchen festen Hülle sprechen. Das trifft ganz besonders zu für alle die Fälle, wo im Plasma Rotations-, Circulations- oder Glitschbewegung statthat. Die Auffassung von de Vries ist ganz unvereinbar mit der Thatsache, dass der rotirende Plasmastrom den Zellsaft in demselben Sinne mit in Bewegung setzt, wovon man sich bei allen Characeen, bei Trianea u. s. w. jeden Augenblick überzeugen kann. Wie wäre das möglich, wenn hier der Wandbeleg von einer scharf abgegrenzten Membran vom Saft geschieden wäre, wie erklärte es sich in diesem Falle, dass, wie wir im letzten Kapitel sahen, so oft einzelne und kleine Gruppen von Chlorophyllkörpern aus dem Wandbeleg in den Saft hineingeriethen?

Der Zellsaft ist nicht reines Wasser, welches Eiweisskörper aus dem Protoplasma ausfällen müsste, sondern enthält selber Eiweiss in

mehr oder weniger beträchtlichen Mengen gelöst. Und die Pseudopodien der Rhizopoden und Radiolarien beweisen uns auch ferner, dass auch das natürlich vorkommende süsse oder salzige Wasser keineswegs immer die oberflächlichen Schichten der mit ihm in Berührung kommenden Plasmamassen zur Coagulation bringen muss.

Es folgt nun aus unseren Ausführungen im ersten Kapitel, dass die Hautschicht, welche nackte Plasmamassen umgibt, keineswegs zu identificiren ist mit der ebenso benannten Schicht, welche in den mit Membran umgebenen Zellen der letzteren innen anliegt. Wir sahen, dass innerhalb der Zelle die Cellulose immer im Innern von Plasmamassen, nie an ihrer Oberfläche ausgeschieden wird, und suchten wahrscheinlich zu machen, dass dasselbe Verhalten im Princip auch zutrifft, wenn freie Plasmakörper eine Membran um sich bilden. Allerdings liegen ja hier die Verhältnisse anders als in der Zelle, wo die betreffenden cellulosebildenden Plasmamassen beiderseits von Zellsaft umgeben sind. Aber das äussere flüssige Medium ist mit Rücksicht auf die Symmetrie des Plasmakörpers, wie wir das zu zeigen versuchten, als dem Zellsaft gleichwerthig anzusehen.

Pfeffer[1]) glaubt, dass die Zellmembran als Umwandlungsproduct der Hautschicht aufzufassen sei, und nach meinen später näher anzuführenden Erfahrungen muss ich demselben hierin insofern beistimmen, als ich ebenfalls fand, dass die neue Membran nicht auf der Oberfläche, sondern an Stelle der peripherischen Schichten des Plasmakörpers auftritt. Ob sie hier aber nach aussen vollkommen frei liegt, oder noch von einer wenn auch sehr dünnen und möglicherweise stark metamorphosirten Plasmaschicht überzogen ist, dafür lässt sich durch directe Beobachtung ein sicherer Entscheid nicht erbringen.

Was die entsprechende Frage nach der Abgrenzung der dem Plasmakörper eingelagerten Organe von der Grundmasse, resp. voneinander, wenn eingeschachtelte Systeme (Grana, Pyrenoide, Nucleolus u. s. w.) vorliegen, anbetrifft, so liegen in Bezug auf sie die Verhältnisse ebenso, wie beim Plasmakörper selber. Auch hier haben wir, wie oben näher ausgeführt, mehr oder weniger ausgeprägte concentrische Schichtung anzunehmen, sobald in ihnen Chemismus und Stoffaustausch statthat. In der Grenzzone selber werden wir darum entweder ein Oberflächenhäutchen bestimmter Zusammensetzung vorfinden, oder auch unter Umständen Niederschlagsmembranen. Als solche ist vielleicht die Kernmembran aufzufassen. Den Chlorophyllkörpern, Grana, Nucleolen u. s. w. scheinen aber solche membranöse Hüllen ganz zu fehlen.

Der von Pfeffer zuerst vertretenen Auffassung, dass die Grenzschicht beim Plasmakörper, ebenso wie auch bei seinen Organen, für

1) Pflanzenphysiol. I. S. 287.

die Aufnahme oder Nichtaufnahme von Substanzen, also für die Diosmose, die massgebende ist, muss ich nach den Ergebnissen der vorliegenden Ausführungen durchaus beipflichten. Denn da angenommen werden muss, dass diese Schicht hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, wenn auch vielleicht oft nur in geringem Grade, von den tiefer liegenden Plasmaschichten abweicht, so kann keine Substanz in die letzteren hineingelangen — wäre sie auch noch so leicht in ihnen löslich, wenn sie nicht vorher von der Grenzschicht aufgenommen, gelöst wird, mag diese letztere auch noch so dünn sein.

De Vries hat in seiner besprochenen Arbeit auch versucht — allerdings in nur hypothetischer Weise — die durch die neueren Untersuchungen für die Vermehrung der Farbkörper und Zellkerne festgestellten Thatsachen auch auf die Vacuolen zu übertragen. Auch diese sollen sich nur durch Theilung vermehren. Wie unwahrscheinlich diese Hypothese ist, hat schon Pfeffer hervorgehoben. Fast alle bekannten directen Beobachtungen über die Bildung der Vacuolen im Plasmakörper, wie sich solche in den die Entwicklung der Thallophyten behandelnden Monographien in grosser Menge vorfinden, können mit dieser Hypothese nur mit Hülfe sehr gezwungener und willkürlicher Voraussetzungen in Einklang gebracht werden. Aus den Beobachtungen direct ergibt sich die naheliegende, rein physikalische Auffassung, dass es sich hierbei um nichts weiter als um Entmischungsvorgänge im Protoplasma handelt. Dieser Auffassung tritt die neue Hypothese von de Vries in ganz unnöthiger Weise entgegen.

FUENFTES KAPITEL.

Die Gestalt der morphologischen Bestandtheile der Zelle. Vermehrung derselben.

Für die einzelnen morphologischen Bestandtheile einer gewöhnlichen Emulsion ist zunächst — von der Grundmasse abgesehen — die Tropfenform, oder die einer mehr oder weniger ausgebreiteten Lamelle die am häufigsten auftretende. Benetzt ein Bestandtheil einen anderen von Tropfenform, so wird er bei etwas stärkerer Ausbreitung denselben als Hohlkugel umschliessen müssen. Sind Tropfen der einseitigen Einwirkung anderer Kräfte, etwa der Schwerkraft unterworfen, wenn sie z. B. am Boden des Gemenges lagern, oder an seiner Oberfläche schwimmen, so ist ihre Form die bekannte, mehr oder weniger abgeplattete der auf einer Unterlage ruhenden Flüssigkeitstropfen.

Ein grosser Theil der morphologisch individualisirten Bestandtheile des Zellinhalts besitzt nun im allgemeinen die einfache Tropfenform. So fette und ätherische Oele immer, Gerbstofflösungen und einfache Vacuolen sehr häufig. Nicht selten, besonders in Zellen ohne Saftraum, auch der Kern und die Farbkörper, wie in den Zellen in der Nähe des Vegetationspunktes so oft.

Ganz allgemein nehmen aber von der Tropfenform abweichende Gestalt die functionirenden Chlorophyllkörper an. Die Hauptaufgabe dieses Kapitels wird der Versuch sein müssen, die so äusserst mannigfaltigen Gestalten der Chlorophyllkörper auf Grundlage unserer Auffassung von der Emulsionsnatur des Protoplasma mechanisch abzuleiten. Alle übrigen Organe sind ihnen gegenüber in dieser Beziehung von durchaus untergeordneter Bedeutung.

Bei fast allen höheren Pflanzen von den Moosen aufwärts, sowie bei zahlreichen grünen und braunen Algen zeigen die Chlorophyllkörper im wesentlichen die Form eines auf einer nicht benetzten Unterlage ruhenden Tropfens. Diese Gestalt leitet sich in einfacher Weise ab, aus dem von dem Zellsaft und den umgebenden Plasmaschichten in radialer Richtung auf die wandständigen Chlorophyllkörper ausgeübten Druck.

Es darf dabei aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass dieser Druck, da er von einer mehr oder weniger leichtflüssigen Substanz ausgeht, nur unter gewissen Umständen eine Abplattung bedingen kann. Nämlich nur dann, wenn die Oberflächenspannung an den Farbkörpern nur eine minimale Grösse besitzt. Anderenfalls sind auch in einem sehr dünnen Wandbeleg oder in zarten Plasmafäden vollkommen abgerundete und weit in das Zelllumen vorspringende Tropfenformen möglich. Beispiele dafür findet man leicht in Zellen, die grössere Tropfen von fetten und ätherischen Oelen, Gerbstofflösungen oder auch gewöhnliche Vacuolen enthalten.

Zuletzt kommt schliesslich auch die Zähigkeit der Masse des Farbkörpers noch mit in Betracht.

Da diese verschiedenen massgebenden Factoren nach den Einzelfällen in mannigfaltiger Weise variiren können, so begreift sich leicht, dass der Grad der Ausbreitung der Farbkörper ein sehr verschiedener ist. Sehr flach ausgebreitete Formen, die bei niederen Pflanzen so häufig sind, und auf die wir weiter unten noch eingehender zurückkommen müssen, sind bei höheren ziemlich selten. Ich fand sie z. B. bei Cycas revoluta, Stapelia spec., Hedera. Es begreift sich auch leicht, dass die Stärke der Ausbreitung in derselben Zelle je nach dem Entwicklungszustande und den äusseren Verhältnissen wechseln kann, wie wir das z. B. des Näheren von den Chlorophyllkörpern der Pallisadenzellen höherer Pflanzen durch die Untersuchungen von Micheli und Stahl[1]) wissen. Diese runden sich ab und wölben sich gegen die Zellhöhlung vor bei diffuser Beleuchtung, flachen sich dagegen unter Ausbreitung stark ab bei directer Insolation.

Von der Fläche gesehen, besitzen die kleineren Chlorophyllkörper nur selten kreisförmige Umrisse, in der Regel sind sie gestreckt in der Richtung der Längsachse der Zellen, welchen sie eingelagert sind. Es dürfte sich das z. Th. in derselben Weise erklären, wie die Streckung der Luftblase in einer cylindrischen Libelle, oder eines auf einer hohlen cylindrischen Fläche ruhenden Oeltropfens.

Ganz gewöhnlich findet man aber bei der Untersuchung eine hiervon abweichende Orientirung der Längsachse. So in Moosprotonemen, Prothallien u. s. w. Dafür dürften zunächst oft Umlagerungen der Farbkörper innerhalb der Zellen den Grund abgeben, indem sie bei ihrer zähen Consistenz die der früheren Lage entsprechende Form noch eine Zeitlang beibehalten. Wo, wie bei den Characeen, die Anordnung eine durchaus feste ist, sind die Längsachsen aller der der Zellen parallel gerichtet. Daneben bleibt aber zu berücksichtigen, dass die Streckung auch in besonderen Symmetrieverhältnissen ihren Grund haben

1) Botan. Zeitung 1880.

kann, die sich theils aus der Gesammtsymmetrie der betreffenden Plasmakörper, theils aus specielleren untergeordneten Symmetrieverhältnissen ergeben. Wir haben darauf im Folgenden näher einzugehen.

Bei gedrängter Lage platten sich die Farbkörper polygonal ab, und zwar entsprechend den hierfür geltenden hydrostatischen Gesetzen. Wir können erst in einem der folgenden Kapitel auf diese letzteren, bei Gelegenheit der Besprechung der Form des Zellnetzes, näher eingehen. Hier wird es genügen anzuführen, dass nach diesen Gesetzen drei in einem Punkte zusammenstossende Kanten gleiche Winkel von 120° miteinander bilden müssen. Man kann sich an günstigen Objecten wie Moosprotonemen, Prothallien, Bryopsis u. s. w. leicht überzeugen, dass die Thatsachen den Forderungen des physikalischen Gesetzes entsprechen.

Sind Chlorophyllkörper von gestreckter Gestalt stark ausgebreitet, so nehmen sie Spindelform an, so sehr oft bei Algen, z. B. Bryopsis, Udotea, Codium, Derbesia, Vaucheria, auch bei Phanerogamen, aber hier anscheinend seltener. So z. B. in den Epidermiszellen der Blattnerven von Dipsacus laciniata, ferner in der Epidermis der Blätter vieler Borragineen nach Schimper.[1])

Verschiedene Individuen oder auch dasselbe Individuum zu verschiedenen Zeiten, können aber in dieser Beziehung Differenzen zeigen, an Stelle der spindelförmigen Farbkörper treten mehr abgerundete, weniger ausgebreitete Formen auf, so bei Vaucherien und Codium. Geringe Variationen in der Zusammensetzung des Plasmakörpers genügen auch hier zur Erklärung dieser Modificationen.

Während bei verhältnissmässig schwach ausgebreiteten Farbkörpern die Umrisse ziemlich regelmässig kreisförmige oder gestreckte sind, treten grössere Ungleichmässigkeiten auf, sobald sehr starke Ausbreitung statthat. Die Farbkörper zeigen dann oft wellige, „amöboide" Umrisse, oder sind am Rande in mehr oder weniger feine Spitzen und Zacken ausgezogen. Amöboide Umrisse zeigen z. B. besonders schön die Farbkörper von Melosira varians, welche schon Pfitzer[2]) genau beschrieben hat, ferner auch die der nahe verwandten Podosira nach Schmitz[3]) (Taf. I, Fig. 9). Auch höhere Pflanzen mit stark ausgebreiteten Chlorophyllkörpern zeigen sie mehr oder weniger, so Cycas revoluta, Hedera, Stapelia sp. Wie solche Formen zu erklären sind, liegt nach unseren Ausführungen im dritten Kapitel auf der Hand. Diesen Ausführungen gemäss ist auch im voraus zu erwarten, dass amöboide Gestalt- und event. auch Ortsveränderungen, wenn auch nur

1) Botan. Centralblatt. Bd. 12. Nr. 5. 1882.
2) Hanstein's botan. Abhandlungen. Bd. I. Heft 2. Taf. 6.
3) Chromatophoren der Algen. Fig. 17.

in geringer Ausgiebigkeit, solchen Farbkörpern nicht fehlen werden. Es ist in der That leicht, sich bei Melosira davon zu überzeugen.

Da die Symmetrie des Plasmakörpers, wie wir im vorigen Kapitel auseinandergesetzt haben, von der äusseren Form der Zelle nur in beschränktem Masse abhängig ist, und von ihr sehr oft vollständig unabhängig wird, so darf es nicht Wunder nehmen, wenn auch die Symmetrie der Farbkörper sich oft als zu der der äusseren Form der Zelle in keiner Beziehung stehend erweist. So sind oft die Farbkörper in gestreckten Zellen nicht auch der Länge nach gestreckt, sondern besitzen in querer Richtung den grössten Durchmesser, wie z. B. bei den Chlorophyllringen in den farbstoffarmen Stammzellen der Chaetophoreen (Chaetophora, Stigeoclonium, Draparnaldia) und wie das auch bei Ulothrix- und Conferva-Arten u. s. w., deren Farbkörper keinen geschlossenen Ring in der Zelle bildet, beobachtet werden kann.

Auch bei anderen Algen mit relativ grossen und wenig zahlreichen Chlorophyllkörpern treten, wenn die Zellen regelmässige Symmetrieverhältnisse zeigen, die Beziehungen zwischen der Form und Lage der Farbkörper und den letzteren in auffallender Weise hervor. Besonders schöne Beispiele dafür geben zunächst viele der von Pfitzer auf ihren Bau näher untersuchten Diatomeen, besonders Pinnularia viridis (I, 6, 7; II, 1—6), Anomoeoneis sphaerophora (III, 10), Gomphonema constrictum (III, 11), Amphora ovalis (IV, 9), Epithemia turgida (IV, 10), Cymbella gastroides (IV, 11), Himanthidium pectinale (VI, 1—3), Achnanthes brevipes (VI, 15). Ich kann hier zunächst unter Hinweis auf die Copien in Fig. 10, Taf. II und Fig. 1, Taf. III auf Pfitzer's Angaben und Abbildungen verweisen, komme übrigens auf eine der hierbei ebenfalls in Betracht kommenden Fragen, nämlich hinsichtlich der zuweilen sich sehr aufdrängenden Beziehungen zwischen der Lagerung und Form der Farbkörper und der Lage des Zellkernes weiter unten noch einmal zurück.

Hohlcylindrische Farbkörper, wie die Chaetophoreen, besitzen auch die Oedogonien, sowie manche Cladophora-Arten, bei denen nur der Wandbeleg Chlorophyll führt. In diesen Fällen sind sie aber von bedeutenderer Grösse, sehr dünn ausgebreitet und von zahlreichen Löchern verschiedener Grösse und Form durchsetzt. Kleiner sind diese Löcher bei den Oedogonien, weit grösser und vielgestaltiger aber bei den betreffenden Cladophoren. Fig. 9 auf Taf. II ist die Copie einer von Schmitz[1]) mitgetheilten Abbildung des Farbkörpers von Cladophora arcta, welche die Form und Vertheilung, sowie die verschiedene Grösse der Löcher besonders gut zeigt. Für ihre Entstehung ist zunächst die geringe Dicke der Farbkörperlamellen bei den vorliegenden Objecten

1) Chromatophoren. Fig. 7.

massgebend, neben jenen Umständen, welche wir früher bei der Besprechung der Bedingungen, unter welchen Verschmelzungen von Plasmafäden und Plasmakörpern zu Stande kommen können, näher erörtert haben. Wie in dünnen Flüssigkeitslamellen, z. B. Oellamellen, die auf anderen Substanzen ausgebreitet sind, Löcher entstehen, so auch in den vorliegenden Farbkörperlamellen. Und diese Löcher werden sich nach ihrer ersten Bildung mehr und mehr vergrössern müssen, wenn nicht etwa mit dem Zerreissen ausgelöste Spannungskräfte bestrebt sind, das entstandene Loch wieder zu verkleinern, wie wir früher nach Quincke näher erörtert haben. Dass die grossen Lücken sich im allgemeinen dort finden, wo der Wandbeleg am dünnsten ist, ist leicht verständlich. So liegen sie bei den Cladophoren über den Flächen der Vacuolen des Saftraumes, während die Verbindungsbrücken dort verlaufen, wo sich die das Lumen durchsetzenden Plasmalamellen an den Wandbeleg ansetzen und wo dieser letztere infolge davon grössere Dicke besitzt. Bei den meisten Cladophoren und anderen nahestehenden Formen ist der Farbkörper in der Regel in eine Anzahl polygonale Stücke zerfallen, die oft, wie Schmitz vermuthete, und wie es auch mir ziemlich sicher scheint, noch durch feine Fortsätze in grösserer Zahl miteinander in Verbindung stehen. Die Beziehungen dieser zu den einfacheren Formen, ihre Entstehungsgeschichte und Entstehungsmechanik, ihre eventuellen Umformungen u. s. w. konnte ich bisher noch nicht eingehend genug verfolgen, um sie hier näher behandeln zu können.

Besitzt der Plasmakörper polycentrische, schaumige oder gerüstförmige Symmetrie und treten auch die Farbkörper in die nicht wandständigen Plasmamassen ein, so finden sich bei zahlreichen Algen oft an den wandständigen Chlorophyllmassen nach innen gerichtete leistenförmige Ansätze. So bei Oedogonium, Cladophoren, Diatomeen, z. B. Suriraya (Pfitzer, I, 8).

Am complicirtesten, aber auch am instructivsten ist die Form der Farbkörper bei zahlreichen Conjugaten, für welche uns die thatsächlichen Verhältnisse schon lange durch eingehende Untersuchungen, besonders von Nägeli[1]) und de Bary[2]) bekannt geworden sind. Da ich den Angaben dieser Forscher, soweit ich im Stande war, sie selber nachprüfen zu können, nur wenig Neues hinzufügen kann, so werde ich mich bei der Besprechung auch hier wieder an die von denselben, besonders von de Bary gegebenen Abbildungen halten und auf dieselben verweisen (vergl. auch die Copien auf Taf. II, Fig. 11 und Taf. III, Fig. 5). Im allgemeinen darf ja auch wohl vorausgesetzt werden, dass

1) Gattungen einzelliger Algen. Zürich 1849.
2) Untersuchungen über die Familie der Conjugaten. Leipzig 1858.

der Leser dieser Zeilen über die betreffenden interessanten Bauverhältnisse einigermassen orientirt sein wird.

Bei den Desmidieen sind es wohl die Chlorophyllkörper von Zygnema cruciatum, über deren Formverhältnisse man sich am leichtesten Rechenschaft geben kann. Der Gesammtplasmakörper zeigt hier vorwiegend axile Lagerung, der Wandbeleg ist sehr dünn, durch zahlreiche radiale Plasmafäden mit der axilen Masse in Verbindung. Dementsprechend finden wir die Hauptmasse des Chlorophyllapparates ebenfalls in der Achse der Zelle gelagert, in Form zweier abgerundeter Massen zu beiden Seiten des central gelegenen Kerns. Von ihnen gehen fadenförmige Fortsätze aus, welche jedem der radialen Plasmafäden einzeln eingelagert, sich zur Wand erstrecken und sich im Wandbeleg mehr oder weniger, meist aber nur in geringem Grade wieder ausbreiten. Wäre der Farbkörper im Wandbeleg stärker vertreten, so würde er mit seiner Symmetrie die des Plasmakörpers im wesentlichen wiederholen, die Annahme einer verschwindend geringen Intensität von Spannung an seiner Oberfläche genügt also, um damit die Form im wesentlichen hinreichend mechanisch motivirt erscheinen zu lassen. Von dem Vorhandensein einer solchen nur minimalen Intensität der Spannung legt aber die gesammte Form der Ausläufer, besonders die starke und dünne Ausbreitung ihrer peripherischen Partien sicheres Zeugniss ab. Dass die Chlorophyllmasse in Form zweier, durch den centralen Kern getrennter Hälften auftritt, findet hier, wie bei den meisten übrigen Desmidieen und vielen Diatomeen seine Begründung durch Erwägungen, auf die wir weiter unten erst näher eingehen können.

In allem Wesentlichen stimmen die Formverhältnisse der Farbkörper von Cosmarium moniliforme und orbiculare (a. a. O. S. 41, Taf. VI, 48, 49) mit denen von Zygnema überein.

Unmittelbar hieran schliessen sich aber jene von de Bary angeführten Fälle, bei denen in gestreckteren Zellen auch das Mittelstück des Farbkörpers sich verlängert, und damit in Uebereinstimmung die zahlreichen radialen Bänder sich ebenfalls in der Richtung der Zelllängsachse strecken und abplatten (Tetmemorus minutus, Penium Ralfsii V, 8, 10). Ein besonderer Specialfall ist es dann nur, wenn schliesslich jene radialen Bänder entstehen, welche sich parallel mit der Längsachse durch die ganze Zellhälfte erstrecken, wie in zahlreichen Fällen bei Closterium und Penium. Da diese Zellen einen kreisförmigen Querschnitt besitzen, so versteht es sich aus den Symmetrieverhältnissen, dass die Leisten wie die Speichen eines Rades auf dem Querschnitt gleiche Abstände einhalten. Und wenn dann bei kleineren Arten dieser Gattungen die Zahl der radialen Leisten auf drei bis vier, bei Staurospermum, Mesocarpus, Mougeotia und Craterospermum aber auf zwei hinuntersinkt, wobei dann auch das besondere dickere Mittelstück verloren geht, so

sind das Specialfälle, die sich zwar nicht für jeden Fall im Einzelnen mechanisch begründen lassen, deren Verständniss aber principiellen Schwierigkeiten nicht weiter unterliegt.

Befindet sich die Hauptmasse des Plasmakörpers in axiler Lage, wie in der Regel bei den angeführten Formen, so ist oft der Wandbeleg vollkommen frei von Farbstoff, die radialen Platten erreichen ihn oft sogar nicht und sind dann am Wandbeleg durch farbloses Plasma suspendirt. In anderen Fällen tritt aber auch ein grösserer Theil der Farbkörpermasse in den Wandbeleg über. So z. B. bei Mesocarpusarten, wo er im Querschnitt oft die Form eines Doppel T besitzt. Oft tritt auch die grössere Masse desselben an die Zellperipherie, dann sind die mehr axil gelegenen Theile verdünnt und an den Enden eingezogen, wie es ebenfalls die Abbildung in Fig. 12, Taf. II zeigt. Mancherlei hierhergehörige Variationen lassen sich oft an den verschiedenen Individuen derselben Art constatiren. Ich habe selbst sehr wenig farbstoffreiche Individuen eines Closterium gefunden, bei denen das Mittelstück vollständig fehlte, der Farbkörper aus einer Anzahl isolirter Leisten bestand, welche von der Wand bis etwa zur halben Mitte in das Zelllumen hineinreichten.

Die weiteren, bei Desmideen vorkommenden Einzelfälle lassen sich nun in zwei Abtheilungen bringen, von denen die erste sich zu einem Mittelstück vereinigende radiale Leisten aber ungleichmässig auf den Umfang vertheilt zeigt, wie kleinere Cosmarium- und Euastrum-Arten, sowie Sphaerozosma (de Bary, S. 41, Taf. VI, 33, 34; IV, 32—37), mit vier paarweise angeordneten Leisten. Ferner Staurastrum (l. c. Taf. VI, 25, Nägeli, l. c. Taf. VIII, A, B, C und unsere Copie danach auf Taf. III, Fig. 5), mit sechs bis mehr sich paarweise entsprechenden Leisten, entsprechend der zusammengedrückten, resp. dreiseitigen Querschnittsform jeder Zellhälfte.

Bei den Formen der zweiten Gruppe findet die symmetrische Vertheilung der Hauptmasse des Plasmakörpers mehr in der Nähe der Zellperipherie statt. Die Chlorophyllplatten vereinigen sich unter diesen Umständen paarweise zu so vielen secundären Mittelstücken, als die Zellhälften Kanten besitzen. So bei grösseren Cosmariumarten (C. Botrytis, de Bary, VI, 1—3, 23, 24) und bei Desmidium (IV, 30, 31, copirt auf Taf. II, Fig. 11; VI, 55, 56, 57), wobei die Mittelstücke entweder den Ecken oder den Kanten der Zellhälften gegenüber liegen können.

Bei einigen Conjugatenformen, den Gattungen Spirogyra und Spirotaenia besitzen bekanntlich die Farbkörper die Form von spiraligen, die Zellperipherie umkreisenden Bändern. Es fehlen mir bisher alle sicheren Anhaltspunkte, um auch die Ausbildung dieser Formen mechanisch näher zu begründen. Vielleicht hängt dieselbe damit zusammen,

dass die Chlorophyllbänder hier nicht der Zellwand direct auflagern, sondern dass sie vielmehr nur in der Zellperipherie, von Plasma umgeben, im Saftraum suspendirt sind, dass also das Chlorophyll führende Plasma auch hier das Bestreben zeigt, in das Innere des Zellraumes zu treten. Dass dies möglicherweise hierfür der Grund ist, ist mir darum wahrscheinlich, weil in vielen Exemplaren von Spirogyra nitida, die ich einige Zeit cultivirt hatte, die Chlorophyllbänder ganz in den Wandbeleg übergetreten waren und jetzt die Zellen mehr oder weniger vollständig der Länge nach durchzogen, nicht mehr in Form von Spiralbändern.

Im Uebrigen ist die Querschnittsform, welche die Chlorophyllbänder bei Spirogyra gewöhnlich zeigen, und die in Fig. 7, Taf. III schematisch wiedergegeben ist, durch die Art und Weise ihrer Suspension am Wandbeleg, sowie durch ihre Tendenz gegen das Zellinnere zuzuwandern, hinreichend begründet. Die Grösse der Oberflächenspannung kann nur eine ganz minimale sein, wie aus ihrer starken bandförmigen Ausbreitung, besonders aber auch aus den mannigfaltig gelappten Contouren der Flächenansicht hervorgeht.

In den vorstehend behandelten Beispielen dürften die principiell wichtigen Punkte zunächst hinreichend hervorgehoben sein, es wird darum von einer Besprechung weiterer Einzelfälle abgesehen werden können. Auf die Theilung der Chlorophyllkörper kommen wir weiter unten wieder zurück. Dort wollen wir auch erst auf die Farbkörper der Florideen etwas näher eingehen, die eine Reihe besonderer, bemerkenswerther Eigenthümlichkeiten zeigen.

Im Gegensatz zum Chlorophyllapparat ist bei den Zellkernen die Oberflächenentwicklung durchgängig eine relativ geringe. Sie stimmen in dieser Hinsicht mit den meisten übrigen Differenzirungsproducten des Zellleibes überein.

Die im Zellinnern gelagerten oder an Plasmafäden suspendirten Kerne besitzen im allgemeinen die Form abgerundeter Tropfen, oft mehr oder weniger ellipsoidisch gestreckt, entsprechend der Form der Zellen, oder sind auch von unregelmässig eiförmiger Gestalt. Im Wandbeleg nehmen sie, wie viele Chlorophyllkörper meist die Form auf einer Unterlage ruhender, aber wenig abgeflachter Tropfen an, ebenfalls je nach den Einzelfällen ellipsoidisch oder eiförmig gestreckt. Sehr kleine Kerne, wie die von Vaucheria, Bryopsis, Dasycladus, Derbesia zeigen auch im Wandbeleg ziemlich vollständige Kugelgestalt.

In selteneren Fällen sind die Kerne stärker ausgedehnt und abgeflacht, so fand ich sie z. B. von der Form ziemlich dünner Scheiben im

grosszelligen Parenchym der jungen Blattbasis von Aloë spinulosa, ferner bei Hyacinthus an derselben Stelle. Hier erhalten sie dann auch, entsprechend den ähnlich stark ausgebreiteten Chlorophyllkörpern amöboide Umrisse, und werden zweifelsohne auch amöboide Formänderungen zeigen (Taf. III, Fig. 4). Die bisherigen Angaben über amöboide Formen der Kerne beziehen sich meist auf die Zeit unmittelbar vor der Theilung, die erst im folgenden Kapitel näher besprochen werden kann. Nach allem Vorhergegangenen wird es aber nicht nöthig sein, auf die Mechanik der Formbildung hier beim Kern nochmal wieder einzugehen, ebenso wenig, wie auch jene langsamen Formänderungen noch näher zu begründen, die von Hanstein[1]) am Kern beobachtet wurden, als er die langsamen Wanderungen desselben innerhalb des Zellraumes näher verfolgte.

Von Interesse sind Kernformen, wie sie in Fig. 3 auf Taf. III abgebildet sind und zahlreiche andere, welche sich im jungen Blattparenchym von Hyacinthus allgemein finden, indem sie zeigen, wie die Form vollständig von der Symmetrie des gesammten Plasmakörpers und ihrer mehr oder weniger zähflüssigen Consistenz beherrscht wird.

Vielfach kommen — abgesehen von Theilungszuständen — auch spindelförmige Kerne vor, so besonders in den Cambium- und den gestreckten parenchymatischen Zellen der Gefässbündel, wo sie schon oft beobachtet sind, ferner auch in jungen Bastfasern und „Milchsaft" Gefässen bei Humulus und Urtica u. s. w., auch in den Epidermiszellen von Pelargonium zonale fand ich spindelförmige Kerne. Die Form einer dünnen biconvexen Linse besitzt der Kern von Spirogyra nitida, der bekanntlich an Plasmafäden im Lumen der Zelle suspendirt ist. In der Zelle einer längere Zeit cultivirten Pflanze fand ich ihn von fast ringförmiger Gestalt. Er hatte sich hier nämlich in mehr peripherische Lage begeben, im Centrum der Aequatorialebene der Zelle aber geöffnet und zeigte den in Fig. 6 b., Taf. III angegebenen Querschnitt. Ich konnte mich indessen nicht ganz sicher davon überzeugen, ob der Ring vollständig geschlossen, oder an einer Seite geöffnet war.

Mehr oder weniger verästelte Kerne finden sich in den Spinndrüsen von Lepidopteren, die von Helm[2]) eingehender beschrieben worden sind. Ich kenne sie nicht aus eigener Anschauung, sie mögen hier darum nur kurze Erwähnung finden. Inwiefern ihre Gestalt in Beziehung zur Symmetrie der Plasmakörper der betreffenden Zellen steht, bleibt näher zu untersuchen.

Am Nucleolus, der gewöhnlich die einfache Tropfenform besitzt, sind Amöboidformen und Bewegungen in den Anfangsstadien der Kern-

1) Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Bonn. 1870.
2) Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. 26. 1876. Taf. 27, 28. S. 434 ff.

theilung von verschiedenen Beobachtern, und auch von mir selber gesehen worden. Es ist später darauf zurückzukommen.

Lange pseudopodienartige Ausstülpungen scheinen nach meinen Untersuchungen an den miteinander verschmelzenden Kernen in den Sporangien von Derbesia neglecta [1]) vorzukommen. Man findet an den gefärbten Präparaten die Kerne gruppenweise durch strahlige Fortsätze verbunden und an Stelle jeder Gruppe später einen einzigen grossen Kern. Die Verschmelzung der Kerne in jungen Endospermzellen, wie sie von Strasburger in vielen Fällen constatirt, von mir auch bei Anthericum graminifolium beobachtet wurde, ferner die Bildung des secundären Embryosackkerns, sowie die Vereinigung der Kerne der männlichen und weiblichen Sexualzellen beim Befruchtungsvorgang erfolgt nach den vorliegenden Angaben durch Vereinigung der unmittelbar nebeneinanderliegenden Kerne, in der Weise, wie auch Oel- und andere zähe Flüssigkeitstropfen miteinander verschmelzen würden. Es werden dafür auch dieselben physikalischen Bedingungen massgebend sein, wegen welcher auch hier wieder auf die früher im dritten Kapitel gegebenen Ausführungen verwiesen werden kann.

Zur kurzen Charakterisirung der Formen, welche der Saftraum im Protoplasma annehmen kann, mögen hier beispielsweise nur einige Formverhältnisse der gerbstoffführenden Safträume kurz besprochen werden, da sie der Untersuchung die geringsten Schwierigkeiten darbieten.

Für gewöhnlich zeigen die Gerbstofflösungen die Form von abgerundeten Tropfen, die indessen oft, den Dimensionen der Zellen entsprechend, wesentlich von der Kugelgestalt abweichen kann. Oft finden sich aber auch an frei im Plasma liegenden derartigen Tropfen mehr oder weniger gut entwickelte amöboide Umrisse. In polycentrischen Plasmakörpern eingelagerte Gerbstoffmassen können sich wie oben erwähnt verhalten, die ganze Masse kann aber hier oft, dem Bau des Plasmakörpers folgend, gerüstförmige Gestalt annehmen. Den mancherlei Variationen der Oberflächenspannung entsprechend, scheint besonders in diesen Fällen die Form sehr wechseln zu können, wenigstens findet man in nebeneinanderliegenden derartigen Zellen die Gerbstofflösungen einmal in Form mehr oder weniger gerüstförmig verbundener unregelmässiger Massen, dann wieder in Form zahlreicher isolirter Kugeln. Zerfall und Wiedervereinigung derartiger Massen dürfte darnach sehr häufig sein. Bemerkenswerth ist, dass die Umrisse immer ziemlich plumpe sind, nie findet man so weitgehende Ausbreitung und

1) Mitth. der zoolog. Station zu Neapel. Bd. 2. Heft 1. 1880.

so elegante Formen, wie sie der Chlorophyllapparat aus guten Gründen meist zeigt.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich indessen hinsichtlich des letzteren noch nachträglich kurz hervorheben, dass ganz mit Unrecht Haberlandt[1]) und Schimper[2]) den Chlorophyllapparat der höheren Pflanzen, weil er in eine grosse Zahl von kleineren Tropfen zerfällt ist, hinsichtlich der Oberflächenentwicklung für vollkommener erklären, als den vieler Algen, welche diese Zertheilung nicht zeigen. Die grossen Chlorophyllplatten von Chaetophoreen, Oedogonien, Cladophora, Spirogyra, Mesocarpus besitzen vielmehr eine relativ viel grössere Oberflächenentwicklung, als die kleinen Chlorophyllkörper der höheren Pflanzen, da die ganze Masse hier zu äusserst feinen Lamellen ausgebreitet ist.

Was nun schliesslich die Grundmasse des Plasmakörpers anbetrifft, so ist sie, da sie alle Einlagerungen allseitig umgibt, in ihrer Form natürlich von der Form jener abhängig. Es ist darum nicht nöthig, hier im allgemeinen noch näher darauf einzugehen, nur einige Bemerkungen mögen hier noch Platz finden über die Anordnung und die Formen der Platten und Fäden in schaumigen und gerüstförmigen Plasmakörpern.

In schaumigen Plasmakörpern, wie sie sich sehr schön in den Zellen vieler Cladophoreen, bei Stypocaulon und in zahlreichen anderen Fällen entwickelt finden, entspricht die Anordnung der Platten durchaus der der Lamellen jedes Schaumgewebes. Wir werden auf die hier in Betracht kommenden Gesetze in einem der späteren Kapitel näher einzugehen haben.

Im gerüstförmigen Plasma ordnen und biegen sich die Fäden im Wesentlichen entsprechend den Gesetzen der Seilpolygone. In Uebereinstimmung mit ihrer schleimigen Consistenz verdicken sich dieselben überall da, wo sie zu dreien und mehreren zusammentreffen, indem sich die scharfen Ecken abzurunden streben. Auf die mechanische Ableitung dieser Thatsachen, die in jeder leblosen schleimigen Masse ebenso beobachtet werden können, brauchen wir hier wohl nicht näher einzugehen. Natürlich beziehen sich die vorstehenden Bemerkungen nur auf die allgemeinen Charaktere der Form der Grundmasse polycentrischer Plasmakörper. Für das volle Verständniss der Formen in jedem Einzelfalle dürfen auch die besonderen Symmetrieverhältnisse der betreffenden Zellen nicht ausser Acht gelassen werden.

---

1) Physiologische Anatomie. S. 176.

2) Pringsh. Jahrb. Bd. 16. S. 20. 1885.

Bei der Discussion der Frage nach der Entstehung und Vermehrung der Einlagerungen des Plasmakörpers können wir uns an dieser Stelle im Wesentlichen auf die Chlorophyllkörper beschränken. Ueber Fetttropfen, Vacuolen, Gerbstoffmassen u. s. w. liegen Beobachtungen, die besonderes Interesse beanspruchen könnten, nicht vor, dieselben werden, soweit bekannt, ausgeschieden infolge von Entmischungsvorgängen im Protoplasma, die nach den früheren Erörterungen hier einer besonderen Besprechung nicht bedürfen. Was über ihre Vermehrung durch Theilung bekannt ist, soll später kurz angeführt werden. Auf die complicirten Vorgänge bei der Vermehrung des Zellkerns haben wir aber an einer anderen Stelle zurückzukommen. Die frühere Annahme, dass auch Kern und Chlorophyllkörper durch Ausscheidung aus dem Plasma neu sich bilden könnten, hat sich nicht bestätigt, die Untersuchungen von Schmitz, A. Meyer und Schimper haben als für alle Fälle ziemlich sicher hingestellt, dass sie nur durch Theilung schon vorhandener gebildet werden. Irgendeinmal müssen sie allerdings durch Differenzirung aus dem Plasma gebildet worden sein und die Möglichkeit, dass das auch jetzt unter Umständen noch stattfinden könne, lässt sich schon darum noch nicht vollständig von der Hand weisen, als auch Fälle bekannt geworden sind, wo die Substanzen der Farbkörper und Kerne, in lebende Plasmamassen vertheilt, von ihnen gelöst werden, worauf wir früher schon hingewiesen haben.

Bei der rein theoretischen Betrachtung ergibt sich zunächst für die Mechanik der Zertheilung flüssiger Massen Folgendes: Eine kuglige Masse und andere, welche sich der Kugelform nähern, müssen bei dem Zerfall in zwei oder mehrere Theile, auch wenn dieselben sich wieder kugelförmig abrunden, ihre Oberfläche vergrössern. Sollen also solche Massen fähig werden, sich zu zertheilen, so müssen jene Bedingungen erfüllt sein, unter denen Oberflächenvergrösserung physikalisch möglich wird und die wir im dritten Kapitel bei der Besprechung der Pseudopodienbildung frei in das Medium hinein näher erörtert haben. Es ergaben sich dort als solche Bedingungen minimale Spannungen an der gemeinsamen Oberfläche und concentrische Schichtungsverhältnisse im Medium oder auch im Object selber. Pseudopodienbildung kann dann unter bestimmten Umständen von dem Object aus in das Medium hinein, oder von diesem aus auch umgekehrt in das erstere hinein stattfinden. Ein derartiges ringförmiges Pseudopodium würde z. B. eine Zertheilung einer kugligen Masse in zwei bewirken können.

An und für sich theilungsfähig ist nach unseren früheren Ausführungen ein Flüssigkeitscylinder, wenn er eine bestimmte Länge überschreitet, auch bei gleicher Intensität der Spannung an der ganzen Oberfläche. Aus demselben Grunde sind auch dünnere plattenförmige Flüssigkeitsmassen, sowie dünne hohlkuglige Schichten des Zerfalles

fähig. Labile Cylinder sehen wir im gewöhnlichen Leben oft durch Zugwirkung, so z. B. auch durch die Wirkung der Schwere, an ausfliessenden Flüssigkeitsstrahlen entstehen, ebenso auch in cylindrischen, horizontalliegenden Röhren, wie bei Oeltropfen oder Luftblasen auf Wasser. Labile flache Massen bilden sich bei jeder Ausbreitung in dünner Schicht auf einer Unterlage. Auch auf einer Unterlage ruhende Tropfen werden labil, sobald sie eine bestimmte Grösse überschreiten, weil die Schwerkraft nicht erlaubt, dass dabei auch ihre Höhe ein bestimmtes Mass überschreitet. Natürlich könnte eine Vertheilung solcher Massen auch bei geringerer Grösse, als dass die Einschnürungen schon zur Oberflächenverminderung führen könnten, ebenso wie bei kugligen Massen schon eintreten, wenn die oben erörterten Bedingungen erfüllt sind.

Ziemlich leicht und sicher gelingt es nun, sich Rechenschaft zu geben über die Mechanik des Theilungsvorganges der Chlorophyllkörper bei gewissen Algen, bei denen dieselben nur einzeln oder in geringer Zahl vorhanden sind und sich zugleich mit der Zelle selber theilen. So z. B. bei Spirogyra, Mesocarpus und anderen Conjugaten. Ferner bei Ulothrix, den Chaetophoreen, Cladophoren, Chlamydomonaden u. s. w. Wir wollen aus allen diesen Formen hier nur einige Conjugaten herausgreifen, bei denen oft schon in der ruhenden Zelle der Farbkörper aus zwei getrennten Hälften besteht, die während oder unmittelbar nach der Zelltheilung sich wieder halbiren, und zwar, wie früher schon de Bary[1]) nachgewiesen, jüngst auch Fischer[2]) wieder für Closterium gezeigt hat, durch allmähliche Einschnürung.

Die Zertheilung der Chlorophyllkörper erklärt sich nun in diesen Fällen aus den Symmetrieverhältnissen der betreffenden Zellen. Wir finden bei diesen Formen den Kern und die Chlorophyllkörper einer besonderen axilen Plasmamasse eingelagert, den Kern im Centrum der Zelle, die Chlorophyllmassen seitlich. Wenn wir nun bedenken, dass der Kern infolge seiner Grösse durch seinen Chemismus besondere concentrische Schichtungsverhältnisse um sich erregen wird, wie wir das im vorigen Kapitel näher auseinandergesetzt haben, so erklärt es sich, dass dadurch in seiner Nähe die Grösse der Spannung an der Oberfläche der Chlorophyllkörper so steigen kann, dass Einschnürung, resp. Durchschnürung erfolgen muss.

Bei der Zelltheilung wandern nun die beiden Theilkerne in die Mitte jeder Zellhälfte, und damit ist wieder ein Anlass zu einer neuen Zerfällung jedes Chlorophyllkörpers gegeben.

Während nun bei den meisten Desmidieen, bei Zygnema, vielen

---

1) A. a. O. S. 46.

2) Botan. Zeitung 1886. S. 225. Taf. III.

Mesocarpus-Arten und verwandten Formen die Chlorophyllmasse jeder Zelle vollständig zweigetheilt ist, kommt es bei Closterien, Penien u. s. w. nicht selten vor, dass nur die axilen Theile durch den Kern zerschnitten werden, dass aber die radialen Bänder beider Zellhälften in weiterer Entfernung vom centralen Kern, also in der Nähe der Zellperipherie zusammenhängen. Bei vielen anderen Mesocarpus-Arten und nahestehenden Formen, bei denen die Chlorophyllmasse eine in einem axilen Längsschnitt der Zelle ausgespannte Platte bildet, finden wir dieselbe oft an der Stelle, wo der Kern ihr einseitig auflagert, nur mehr oder weniger eingeschnürt, wie das die auf Taf. II, Fig. 12 gegebene Skizze zeigt.

Ganz entsprechende Beziehungen zwischen der Lage des Kernes und der Form und Lagerung der Chlorophyllmassen zeigen auch viele Diatomeen, so, um uns auch hier wieder auf die schon von Pfitzer näher untersuchten Beispiele zu beschränken, sehr schön Anomoeoneis sphaerophora (III, 10), Gomphonema constrictum (III, 11), Neidium amphirhynchum (IV, 1), Himantidium pectinale (VI, 1—3), Nitzschia Palea (VI, 10), Achnanthes brevipes (VI, 15) (vergl. Taf. II, Fig. 10). Zahlreiche andere Diatomeenformen des süssen und salzigen Wassers zeigen Entsprechendes, doch wäre es überflüssig, noch weiter dabei zu verweilen.

Die Zertheilung der Farbkörper bei der Zelltheilung der übrigen oben erwähnten Formen, Cladophora, Ulothrix, den Chaetophoreen, Spirogyra u. s. w. ist nun ohne Zweifel in entsprechender Weise mechanisch begründet. Hier ist es aber nicht die Umlagerung des Kernes und der ihn umgebenden Plasmamassen, welche wie oben den Anstoss zur Zertheilung der Chlorophyllkörper geben, sondern die vor und während der Ausbildung der neuen Zellmembran in der Aequatorialebene der betreffenden Zellen auftretenden Aenderungen der Symmetrie und der Zusammensetzung des Plasmakörpers. Da wir diese Vorgänge im nächsten Kapitel besonders zu besprechen haben, so wird es nicht erforderlich sein, hier näher darauf einzugehen.

Bei einigen Diatomeen mit wenigen grossen Farbkörpern tritt eine Theilung derselben regelmässig nach der vollendeten Zweitheilung der Zelle auf, während beim Theilungsvorgang der Zelle selber die Farbstoffkörper nur zur Hälfte der einen, zur anderen Hälfte der anderen Theilzelle zufallen. Vor dem Eintritt der Zelltheilung erfolgen dabei Umlagerungen der Farbkörper, die sie in eine solche Lage bringen, dass eine Zelltheilung ohne gleichzeitige Zertheilung der Farbstoffplatten, wie bei den oben behandelten grünen Algen, überhaupt erst möglich wird.

Es wird genügen, hier auf ein Beispiel näher hinzuweisen, das schon von Pfitzer näher behandelt ist, auf dessen Abbildungen und

ausführlichere Darstellung wir auch hier wieder verweisen. Es ist das Pinnularia viridis. Wir wollen dabei hier gleich vorweg bemerken, dass Pfitzer auch für andere Formen die entsprechenden Vorgänge mit Wort und Bild näher beschrieben hat.

Bei Pinnularia liegen die beiden grossen Endochromplatten in der ruhenden Zelle opponirt an den Gürtelbandseiten, reichen aber nach beiden Seiten auf die Schalenseiten hinüber (vergl. Pfitzer, Taf. I und II). Vor Beginn der Zelltheilung wandern sie umgekehrt auf die Schalenseiten hinüber (II, 2, 3). Nach Vollendung derselben zerfällt dann jede Platte in unregelmässiger Weise, indem in der Mittellinie der Schalenseite Einschnürungen und Löcher entstehen, wie das Pfitzer in Taf. II, Fig. 50 dargestellt hat, in zwei Theile, deren jeder nun wieder auf eine Gürtelbandseite hinüberwandert. Alle diese Umlagerungen, ebenso wie der Zerfall der betreffenden Farbkörper nach vollendeter Zelltheilung, ergeben sich in derselben Weise aus den die Zelltheilung begleitenden Variationen der Zellsymmetrie.

Bei der Zertheilung der kleineren in jeder Zelle aber in grösserer Anzahl vorhandenen Farbkörper liegen die Verhältnisse nun ohne Zweifel wesentlich anders. Die Gesammtsymmetrie der Zellen, sowie ihre gesetzmässig erfolgenden Aenderungen während des Lebens können hier für die Theilung nicht von Bedeutung sein, schon deshalb nicht, weil die Theilungen zu jeder Zeit und in jedem einzelnen Farbkörper für sich, unabhängig von der Theilung auch der unmittelbar angrenzenden erfolgen.

Da diese kleineren Farbkörper meistens mehr oder weniger scheibenförmig im Wandbeleg ausgebreitet und vielfach in der Längsrichtung gestreckt sind, so könnte man zunächst wohl auf den Gedanken kommen, die Zertheilung könne in derselben Weise, wie der Zerfall eines gestreckten Flüssigkeitscylinders erklärt werden. Denn die Farbkörper nehmen allmählich an Grösse zu und bei ihrer Abplattung muss der Fall eintreten können, dass, wie bei labilen Cylindern oder auf einer Unterlage ruhenden grösseren Tropfen, die Zertheilung von einer Oberflächenverminderung begleitet sein wird. Dass die Theilung dabei im allgemeinen eine Zweitheilung ist, läge vielleicht darin begründet, dass bei Entstehung mehrerer Theilstücke die eintretende Oberflächenverminderung nicht so gross, die für den Theilungsvorgang disponibel werdende Kraftmenge also geringer sein würde. Dass die entstehenden Hälften gewöhnlich etwa gleiche Grösse besitzen, würde ein Analogon finden in der Thatsache, dass auch bei dem Zerfall eines labilen Cylinders die Theilstücke etwa gleiche Grösse annehmen.

Es würde sich mit dieser Vorstellung über die Theilungsmechanik auch wohl vereinigen lassen, dass die absolute Grösse der Farbkörper, bevor sie zur Theilung schreiten, nach den Einzelfällen eine so ver-

schiedene sein kann, wie z. B. in den verschiedenen Zellen ein und derselben höheren Pflanzenspecies, wo sie in den assimilirenden Zellen immer viel grösser sind, als z. B. in den collenchymatischen. Denn der Zeitpunkt, bei dem die Zertheilung beginnt, muss, auch sobald die erste Bedingung, dass sie mit einer Verminderung der Gesammtoberfläche verbunden, erfüllt ist, sich doch noch mehr oder weniger hinausschieben, je nach den mannigfaltigen Variationen, welche die zu überwindenden Widerstände und die die Zertheilung bewirkenden Kräfte der Oberflächenspannung hinsichtlich ihrer absoluten und relativen Intensität in den Einzelfällen zeigen werden.

Bei der grossen Complication der vorliegenden Frage und der Unmöglichkeit, ihr experimentell beizukommen, lässt es sich nicht entscheiden, ob die vorstehend hinsichtlich der Theilungsmechanik entwickelten Vorstellungen in der That für die Fälle, wo stärker ausgebreitete und mehr gestreckte Farbkörper vorliegen, als ausreichend gelten können. Dass sie aber nicht genügen können, um auch die Zweitheilung der mehr kuglig abgerundeten Farbkörper, wie sie sich z. B. so allgemein in den Vegetationspunkten finden, zu erklären, liegt auf der Hand. Man kommt darum der Wahrheit vermuthlich näher, wenn man sich die Theilung in anderer Weise vermittelt denkt. Nimmt man an, es entstehe, wie in den Zellen bei Beginn der Zweitheilung, so auch in dem einzelnen Chlorophyllkörper unter dem Einfluss seines Chemismus und desjenigen des ihn umgebenden Plasma eine bipolare Symmetrie, welcher zufolge in der Aequatorialebene die Einschnürung auftritt, so wäre die Theilung auch bei vollkommener Kugelgestalt möglich. Wir haben schon im Anfang dieses Kapitels diesen Fall kurz besprochen und kommen eingehender noch im nächsten Kapitel auf ihn zurück, wenn wir die Furchungsvorgänge in der befruchteten thierischen Eizelle besprechen werden.

Was nun noch die Einzelheiten des betreffenden Theilungsvorganges anbetrifft, so hat Schmitz[1]) zunächst darauf aufmerksam gemacht, dass die Theilung theils eine Durchschnürung, d. h. mit seitlicher Einschnürung verbunden, theils aber eine Durchschneidung ist, also hauptsächlich durch Einschnürung von der Rückenseite her erfolgt. Zweifelsohne sind diese Variationen ziemlich bedeutungslos, was auch daraus hervorgeht, dass sie sich oft unterschiedslos bei ein und derselben Form vorfinden. Weitere bedeutungslose Einzelheiten, auf die wir hier nicht näher einzugehen brauchen, sind es, wenn die Theilstücke oft noch einige Zeit durch einen mehr oder weniger langen Faden vereinigt bleiben, wenn die zugekehrten Trennungsränder mehr oder weniger gezackt erscheinen u. s. w.

---

1) Chromatophoren. S. 90 ff.

Auffälliger ist die Abweichung, welche nach den Untersuchungen von Mikosch[1]), A. Meyer[2]) und Schimper[3]) bei der Theilung der Chlorophyllkörper in den Luftwurzeln von Hartwegia comosa auftritt. Es bildet sich hier in den sich streckenden und biscuitförmigen Farbkörpern eine farblose Zone aus, innerhalb welcher die Trennung der beiden Hälften erfolgt.

Schaarschmidt[4]) und Schmitz wollen in dieser Zone besondere streifenförmige Differenzirungen aufgefunden haben, aber schon A. Meyer und Schimper, denen auch ich mich anschliessen muss, haben erklärt, dass die von diesen beiden Beobachtern gefundenen Bilder Kunstproducte und auf die von ihnen zur Conservirung und Härtung benutzten Reagentien zurückzuführen sind.

Wenn in der That, wie A. Meyer und Schimper wollen, die Grundmasse der Chlorophyllkörper farblos ist und nur die Grana gefärbt, so würden sich die Erscheinungen bei dem vorliegenden Object — die übrigens nach Schimper's Angaben auch bei Iris germanica sich finden — leicht dadurch erklären lassen, dass die Grana hier vor der Theilung aus der Aequatorialebene mehr oder weniger frühzeitig auswandern, während das für gewöhnlich bei der Theilung der Chlorophyllkörper nicht statthat. Auch bei Hartwegia ist das Auftreten der farblosen Zone nach den vorliegenden Angaben von Mikosch und A. Meyer nicht ohne Ausnahme, und ich selber habe sie bei der Theilung der Farbkörper im assimilirenden Blattgewebe dieser Pflanze entweder gar nicht oder nur schwach entwickelt und sehr spät auftretend gefunden.

Bei den Farbkörpern der Florideen zeigen sich einige besondere Eigenthümlichkeiten, die auch allgemeineres Interesse besitzen, und die eine gesonderte Besprechung derselben hier noch wünschenswerth machen.

Für alle Florideen ist die starke Ausbreitung der Farbkörpersubstanz, ihre äusserst geringe Dicke bezeichnend. In zahlreichen Fällen, so bei Nitophyllen, Polysiphonien, Chylocladien u. s. w. sind es Plättchen von polygonalen oder amöboiden Umrissen, die anscheinend isolirt im Plasma liegen. In den gestreckten Stammzellen von Ceramien und von Pterothamnion besitzen sie dagegen die Gestalt langgestreckter, schmaler Bänder, welche den Wandbeleg der Länge nach durchziehen. Ihre Breite kann ziemlich wechseln, oft aber auch auf längere Strecken

1) Oesterr. botan. Zeitschr. 1877. Nr. 2.
2) Das Chlorophyllkorn. Leipzig 1883. S. 58.
3) Pringsh. Jahrb. Bd. 16. 1885. S. 191.
4) Botan. Centralblatt 1880. Bd. 2. S. 457.

sich gleich bleiben, an den Rändern finden sich nicht selten zackige Ausbuchtungen. Bei Ceramium tenuissimum zeigten mir diese Fäden sehr schön das Verhalten sich segmentirender Flüssigkeitsfäden, als ich die Zellen durch vorsichtigen Zusatz von destillirtem Wasser, oder durch längere Cultur zum allmählichen Absterben brachte. Bevor noch irgend welche Alterationen im übrigen Zellinhalt zu bemerken sind, sieht man die Farbkörper Perlschnurform annehmen. Es treten die cylindrischen Verbindungsfäden zwischen den Anschwellungen auf, secundäre und tertiäre Anschwellungen bilden sich in der Weise, wie wir es im dritten Kapitel eingehender beschrieben haben. Auch bei Pterothamnion floccosum und Callithamnion corymbosum beobachtet man bei gleicher Behandlung in den Stammzellen Entsprechendes, nur findet die Ausbildung secundärer Anschwellungen hier seltener statt, indem die verbindenden Fäden meist schon früh zerreissen und eingezogen werden.

Da aber auch hier die beschriebenen Veränderungen erst im sich desorganisirenden Plasma auftreten, wie bei der Mehrzahl der im dritten Kapitel behandelten Beispiele, man ihnen also ebenfalls nur geringe Bedeutung für den Nachweis der flüssigen Natur des Protoplasma beimessen könnte, so ist es von um so grösserem Interesse, dass solche Formen bei den Farbkörpern einzelner Florideen ganz normal vorkommen. Bei Monospora pedicellata besitzen die vorwiegend nach der Längsrichtung der Zellen angeordneten Farbkörper die Form aneinander gereihter Spindeln, welche durch mehr oder minder lange und starke Fädchen miteinander verbunden sind. Die Anschwellungen sind von ziemlich wechselnder Grösse, sehr häufig treten aber in den verbindenden Fädchen secundäre und tertiäre Anschwellungen auf, wie wir sie oben bei Cer. tenuissimum fanden (Taf. III, Fig. 8).

Die Zwischenformen, die wir bei dem Zerfall eines labilen Cylinders nur für kurze Zeit, als Uebergangsstadien finden, erscheinen also hier als dauernde stabile Zustände. Es hat keine Schwierigkeit, das in genügender Weise zu erklären.

Die Bandform der Farbkörper in allen diesen Zellen ist wahrscheinlich durch die starke nachträgliche Streckung der letzteren veranlasst, die in den jungen Zellen mehr isodiametrischen Farbkörper werden durch das umgebende wachsende Plasma zu Fäden ausgezogen. Wenn diese Fäden bei Ceramium, Pterthamnion u. s. w. normaler Weise nicht zerfallen, so kann das nur daran liegen, dass die Grösse der Oberflächenspannung zu gering ist, um die Zähigkeit und die Reibungswiderstände der bei der Segmentirung in Bewegung zu setzenden Massen zu überwinden, während das letztere möglich wird, sobald diese Grösse im alterirten Plasmakörper gewachsen ist.

Diese Kraft wird nun unter Umständen wohl hinreichen können die Segmentirung einzuleiten, aber nicht sie zu vollenden, da mit ihrem

Fortschritt mit der Grösse der Oberfläche auch die für die Zertheilung disponible Kraftmenge abnimmt. Dieser Fall dürfte nun bei Monospora vorliegen.

Entsprechende Formen der Farbkörper fand ich auch noch bei Griffithia Schousboei, sowie in wenig farbstoffhaltigen Zellen von Halodictyon mirabile.

Bei vielen anderen Florideen erscheinen die Farbkörper als verzweigte Fadensysteme, wobei die einzelnen Fäden perlschnurförmige Gestalt besitzen oder sich auch mehr oder weniger in spindelförmige Abschnitte gliedern. Die verbindenden Partien sind oft sehr dick und gut zu sehen, oft ziemlich zart, öfter konnte ich sie aber überhaupt nicht nachweisen, die einzelnen Glieder waren dann nur regelmässig perlschnurartig gereiht. Da sich aber zwischen diesen Fällen alle Uebergangsstadien finden, so glaube ich auch dann dünne verbindende Fädchen annehmen zu müssen, da sonst nicht einzusehen, auf welche Weise die regelmässige reihenförmige Anordnung der einzelnen Abschnitte möglich wäre. Auch bei ein und derselben Pflanze kommen diese Abstufungen vor. So zeigte mir ein Exemplar von Laurencia pinnatifida, das in grösseren Tiefen sich entwickelt hatte, in den inneren Thalluszellen perlschnurförmige Reihen annähernd cylindrischer Glieder, zwischen denen ich eine directe Verbindung nicht sicher zu erkennen vermochte. In den oberflächlichen Zellen derselben Pflanze waren die Fäden nur in spindelförmige Abschnitte zerfallen mit gut sichtbaren Verbindungsstücken. Die einzelnen Abschnitte waren im Umriss vielfach gezackt, wie das auch bei Griffithia, Monospora und anderen Formen oft der Fall ist. Leicht nachweisbar war die Verbindung der einzelnen Abschnitte auch bei Chrysymenia uvaria, schwer oder gar nicht bei Chylocladia kaliformis, in den Berindungsfäden von Dudresnaya purpurifera, bei Delesseria Hypoglossum, Polysiphonia elongata.

Da die reihenförmige Anordnung der Farbkörper wohl bei den meisten Florideen in farbstoffarmen Zellen beobachtet wird, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass dieselben bei ihnen ganz allgemein durch zarte, wenn auch nicht immer nachweisbare Fädchen miteinander verbunden sind.

Die besprochenen Systeme verzweigter, gegliederter Fäden entstehen aus je einem Farbkörper der jugendlichen Zellen, der im allgemeinen eckige oder amöboide Umrisse zeigt. Mit dem Wachsthum der Zellen strecken sie sich dann allmählich und gliedern sich in einzelne Abschnitte.

Perlschnurförmige Gestalten aber wesentlich geringere Dimensionen besitzen auch gewisse Einlagerungen, die, wie im zweiten Kapitel näher ausgeführt, öfter im Zellplasma vorzukommen scheinen. Wir wiesen

dort auf ihr constantes Vorkommen bei Bryopsis, Vaucherien, Saprolegnien hin und erwähnten auch, dass Flemming[1]) ganz entsprechende Fädchen in den Leberzellen von Chironomus gefunden hat.

Sie zeigen in den lebenden Zellen vielfach langsam zitternde und schlängelnde Bewegungen, zerfallen in einzelne Abschnitte und scheinen auch miteinander verschmelzen zu können. Ihre perlschnurförmige Gliederung ist oft bald sehr deutlich, bald wieder weniger auffallend.

Ganz analoge Formverhältnisse und Bewegungserscheinungen, bei ebenso geringer Grösse, kann man leicht bei den Myelinbildungen beobachten, auf die schon im dritten Kapitel eingehender hingewiesen wurde.

Es darf an dieser Stelle aber die Bemerkung nicht unterlassen werden, dass vielleicht in manchen Fällen die fadenförmigen Differenzirungen, welche in der Grundmasse der Plasmakörper auftreten, Gebilde mehr oder weniger fester Natur sein dürften. Vielleicht haben wir es in ihnen oft mit Flocken ausgeschiedener Eiweisssubstanzen zu thun, ausgeschiedenen Fibrinflocken vergleichbar. Möglicherweise gehören manche jener Bildungen hierher, die Flemming neuerdings in Zellen von Salamandra, Frosch, Katze, Toxopneustes u. s. w. gefunden und auf der ersten Tafel seines bekannten Buches verschiedentlich abgebildet hat.

Was schliesslich die Vermehrung des Zellkernes anbetrifft, so haben wir uns, wie oben erwähnt, mit dem normalen, indirecten Theilungsvorgang desselben eingehend im folgenden Kapitel zu beschäftigen, nur auf den als directe Theilung oder als Fragmentation des Kernes bezeichneten Modus haben wir hier noch kurz einzugehen.

Meine eigenen Erfahrungen in dieser Hinsicht sind wenig ausgedehnt. Ich hatte Gelegenheit, mir ältere Blattzellen von Vallisneria, sowie von Chara etwas näher anzusehen.

Soweit ich aber daraus und aus den in der Litteratur vorliegenden Angaben von Schmitz[2]), Johow[3]), Strasburger[4]), Flemming[5]) u. s. w. ersehe, kann ich diese Vorgänge nur auffassen, als die Zertheilung labil gewordener zähflüssiger Massen von gummiartiger Consistenz. Bilder, wie die auf Taf. III, Fig. 2a. und b. im Umriss nach Johow copirten, denen sich zahlreiche andere an die Seite stellen liessen, lassen darüber wohl keinen Zweifel aufkommen. Besonders leicht wird man bei Chara diesen Zerfall erklärlich finden, wenn man

---

1) A. a. O. Taf. I. Fig. 14.
2) Bonner Sitzungsber. 1879. 4. August 1880. Juli.
3) Botan. Zeitung 1881.
4) Zellbildung u. Zelltheilung. 3. Aufl. Taf. XIII.
5) A. a. O. S. 347 ff. Hier auch die weitere Litteratur.

sich am lebenden Object davon überzeugt, wie die zähflüssige Kernmasse im Plasmastrome oft gewaltsamen Zerrungen und Formänderungen unterliegt.

In den älteren Parenchymzellen von Phanerogamen dürfte die auffallende und starke Abplattung der Kerne im Wandbeleg für die Fragmentation massgebend sein, infolge deren auch hier bei Lappenbildung und Durchschnürung Oberflächenverminderung statthat.

Phylogenetische Beziehungen zwischen den Vorgängen der directen und der indirecten Kerntheilung dürften, wie einige Forscher wollten, kaum anzunehmen sein. Ihrer Mechanik nach sind die beiden Vorgänge von durchaus unvergleichbarer Natur.

SECHSTES KAPITEL.

Zell- und Kerntheilung.

Ueber das Wesen des Zelltheilungsvorganges orientiren wir uns am besten, wenn wir kurz die Symmetrieverhältnisse, welche der Protoplasmakörper einer Zelle vor und nach der Theilung zeigt, ins Auge fassen. Der Einfachheit wegen wollen wir dabei zunächst nur die Zweitheilung berücksichtigen und eine Zelle mit möglichst einfacher Plasmasymmetrie auswählen, wie sie etwa im Meristem phanerogamer Vegetationspunkte sich vorfinden.

Eine solche Zelle zeigt uns vor der Theilung einen normal monocentrisch geschichteten Plasmakörper mit annähernd central gelegenem Kern. Nach der Theilung finden wir in ihr zwei gleichwerthige Centra, nach entgegengesetzten Richtungen der Membran genähert und getrennt durch eine neue Membranlamelle, zu deren Seiten der Plasmakörper dieselben Symmetrieverhältnisse zeigt, wie der Beleg der alten Membran.

In dem System der anfangs gegebenen Zelle ist also die monocentrische Symmetrie in eine dicentrische übergegangen.

Die Zelltheilung ist nun ein Specialfall von in den pflanzlichen Zellen allgemein verbreiteten Vorgängen, welche Abscheidung von Cellulosesubstanz im Innern des von der alten Membran umschlossenen Raumes zur Aufgabe haben. In einem der folgenden Kapitel haben wir die Besprechung dieser Vorgänge noch einmal wieder aufzunehmen und von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus als hier zu erörtern. Die in Betracht kommenden Cellulosebildungen sind bekanntlich äusserst mannigfaltiger Natur. Bald kommt es zur Ausbildung von Balkengerüsten oder von Platten, Zapfen, Leisten, isolirt oder in mannigfachster Weise zusammenhängend, bald entstehen Ringe, Spiralbänder u. s. w., oder das ganze Zellinnere füllt sich mehr oder weniger mit einem System allseitig abgeschlossener Kammern, oder auch mit compacten Massen aus. Bald durchsetzen diese Bildungen das Zellinnere vollständig, bald nur in der Peripherie, bald entstehen sie schliesslich ganz im Innern ohne Verbindung mit der alten Membran, wie wir das bei

den Vorgängen der freien Zellbildung u. s. w. im letzten Kapitel näher zu besprechen haben werden.

Nach unseren gesammten bisherigen Ausführungen ist es zur Ermöglichung aller solcher Bildungen erforderlich, dass die Plasmakörper der betreffenden Zellen vorher entsprechende, polycentrische Symmetrieverhältnisse annehmen. Bei der Zelltheilung muss dieselbe also, sofern es sich wie gewöhnlich um Zweitheilung handelt, eine bipolare werden. Die Ausbildung dieser bipolaren Symmetrie und die Ausscheidung der Cellulose in Form einer geschlossenen Lamelle durch das ganze Lumen der Zelle hindurch sind es nun, wodurch allein die Zelltheilung sich den übrigen hierher gehörigen Vorgängen gegenüber wesentlich unterscheidet. Weitere Umstände, wie die Theilung des Kernes, die Vertheilung der Plasmamassen zu gleichen Hälften auf die beiden sich bildenden Kammern, die Lebens- und Entwicklungsfähigkeit beider sind von nebensächlicher Bedeutung, denn auf dem Gebiete der reproductiven Zellvermehrung finden sich nicht wenige Ausnahmen davon.

Im allgemeinen unterliegt nun der Vorgang der Herstellung der nöthigen bipolaren Symmetrieverhältnisse zahlreichen Modificationen, die durch die wechselnden Symmetrieverhältnisse des zur Theilung sich anschickenden Plasmakörpers, sowie durch die Art und Weise, wie und in welcher Richtung sich dieselben während des Theilungsvorganges ändern, bedingt sind.

Es kann in der einen Reihe von Fällen der gesammte Plasmakörper der Zellen von vornherein durch die auftretenden Umlagerungsvorgänge in Mitleidenschaft gezogen werden — thierische Eizellen, Pollen- und Sporenmutterzellen u. s. w. — oder aber es spielen sich umgekehrt die ersten Stadien nur in einem mehr individualisirten, selbständig gewordenen Theil des Gesammtinhalts der Zelle ab, während der Rest des Plasmakörpers sich zunächst mehr passiv verhält — so in den meisten Gewebezellen. Es können ferner die neuen Symmetrieverhältnisse sich nach kurzen Vorbereitungen fast plötzlich und simultan durch das ganze Zelllumen hindurch herstellen. Das ist ein selteneres Verhalten, wir finden es z. B. bei den Vaucherien und den Saprolegnieen bei der Bildung der Scheidewände, welche die Sporangien, Oogonien und Antheridien von den vegetativ bleibenden Fadentheilen abtrennen.

Wegen des Näheren bei diesen Vorgängen mag hier gleich auf die eingehendere Darstellung an der entsprechenden Stelle im letzten Kapitel verwiesen sein, aus verschiedenen Gründen wäre es unzweckmässig, sie in diesem Kapitel näher zu behandeln.

Für gewöhnlich bildet sich vielmehr die neue Symmetrieebene schrittweise und allmählich aus und dann entweder in Anlehnung an die alte Membran und von dieser aus successive gegen das Zellinnere

vorschreitend, wie bei Cladophora u. s. w., wobei die Ausscheidung allseitig und gleichmässig am ganzen Umfang der Zelle oder auch einseitig beginnen kann. Oder aber dies ist nur für einen Theil der sich umlagernden Massen der Fall, wie bei der Theilung der Pollenmutterzellen von Tradescantia z. B., wo die Zellplatte und die ersten Anfänge der neuen Celluloselamelle zunächst frei im Innern des Plasmakörpers sich bilden, während die übrigen Theile des neuen bipolaren Systems sich aus dem Wandbeleg herausbilden und in compacten Massen von der Peripherie aus vordringend das Zellinnere durchsetzen, wie weiter unten näher dargelegt werden wird.

In etwas grosslumigen Gewebezellen, die einen mehr oder weniger entwickelten Saftraum enthalten, aber auch sonst, z. B. in den keimenden Sporenzellen von Equisetum, welche einen Saftraum nicht besitzen, spielen sich dagegen die zur Zelltheilung führenden Umlagerungsvorgänge in besonderen selbständig agirenden Theilen des Plasmakörpers ab, während der Wandbeleg zunächst sich indifferent verhält. In dieser Masse, die für gewöhnlich im Innern der Zelle suspendirt ist, entsteht die junge Membranplatte frei und erst, indem sie, an ihren Rändern weiterwachsend sich verbreitert, tritt sie zuletzt mit der alten Membran, den Wandbeleg quer durchsetzend, in Verbindung.

Auch in den Zellen von Spirogyra finden wir eine solche an Plasmafäden suspendirte centrale Masse, die den Zellkern führt, in welcher aber die Ausbildung der bipolaren Symmetrieverhältnisse nur zum Theil erfolgt. Die Bildung der neuen Cellulosemembran beginnt hier von der Peripherie aus. Es ist das gewissermassen die Umkehrung des oben für die Pollenmutterzellen von Tradescantia erwähnten Verhaltens.

Indem die neuen Symmetrieverhältnisse sich in der Regel allmählich und successive herstellen, lässt sich meist gut nachweisen, wie die einzelnen Schichten des Plasmakörpers nach und nach in die sich ausbildende Symmetrieebene einwandern und zwar diejenigen zuletzt und erst kurz vor dem Auftreten der neuen Membranlamelle, welche auch in der ruhenden Zelle der Zellmembran am meisten genähert sind. Die zuerst eingewanderten Schichten werden von den nachrückenden immer gespalten und nach beiden Seiten auseinandergedrängt, bis zuletzt als innerste Schicht und dauernd die neue Membran sich ablagert. Sie liegt also immer von Anfang an zwischen zwei sich entsprechenden plasmatischen Lamellen, nie aber unmittelbar an der Grenze zwischen Saftraum und Protoplasma, also auf der Oberfläche dieses letzteren, wie es anscheinend bei der Bildung der Membran um freie, nackte Plasmakörper der Fall ist.

Aber diese beiden, die neue Membran so von Anfang in sich aufnehmenden Plasmasysteme können, wenn auch mechanisch sich das Gleichgewicht haltend, doch in qualitativer und quantitativer Beziehung

von durchaus verschiedener Ausbildung sein. So z. B. bei der Abtrennung der Sporangien u. s. w. von Vaucheria und Saprolegnia, wo die neue Membran nach der Seite des vegetativen Fadentheils zu nur von einem sehr dünnen Plasmabeleg überzogen ist. Ebenso auch bei der Abgrenzung der Zygoten von Mesocarpus, Zygnema, Staurospermum, Craterospermum[1]) u. s. w., durch welche neben der copulirenden Zelle eine sterile, dem Untergange geweihte entsteht, die nur einen sehr spärlichen Wandbeleg mit eingelagerten Gerbstofftröpfchen, aber weder Chlorophyll noch einen Zellkern besitzt.

Aehnliche Differenzen in den Plasmabelegen zu beiden Seiten der neu entstehenden Membran finden sich ganz verbreitet bei den Vorgängen der reproductiven Zweitheilung von Zellen, auch in den Vegetationspunkten mancher Algen, wie Bornetia, Griffithia, Callithamnien u. s. w., während die vegetativen Theilungen im Gewebe der höheren Pflanzen im allgemeinen mit einer gleichmässigen Vertheilung der Inhaltsmassen auf die beiden Tochterzellen verknüpft sind. Die vorliegenden ursprünglichen Differenzen in der Ausbildung der Plasmabelege zu beiden Seiten der neuen Membranlamelle finden ihr Analogon überall im älteren Gewebe, wenn zwei verschiedenartige Zellen aneinandergrenzen, wie Parenchymzellen und Fasern, oder mit verschiedenen Functionen betraute Parenchymzellen selber.

Nebensächlich für das Wesen des Zertheilungsvorganges ist die Lagerung der neuen Symmetrieebene im Innern der ursprünglichen Zelle. Es sind dafür die Symmetrieverhältnisse des Gesammtplasmakörpers massgebend und demgemäss kann die Theilung zur Halbirung führen oder zu Ungleichtheilungen, wenn der zur Theilung schreitende Plasmakörper monopolare Symmetrie zeigt. Es finden sich hier alle Abstufungen von den Scheitelzellen mancher Algen an mit nur geringen Grössendifferenzen der beiden Theilzellen und anderen Fällen, bis zu jenen Extremen, wo die eine der Theilzellen nur eine kleine Ecke von dem ursprünglichen Zellraum abgrenzt, wie in der Scheitelzelle von Bornetia und Griffithien, in den Oberflächenzellen der Halymenien, Chylocladien u. s. w.

Die speciellen Bedürfnisse geben hierfür den Ausschlag ebensowohl, wie für die Richtung, nach welcher die Theilung erfolgt und die auch bei annähernder Halbirung der Mutterzelle sowohl der Querachse als der Längsachse der Zelle parallel sein kann. Diese Fragen werden uns indessen erst im nächsten Kapitel mehr zu beschäftigen haben.

Die für die Zelltheilung wesentlichen, charakteristischen Vorgänge werden gewöhnlich mehr oder weniger verdunkelt durch verschiedene nebenhergehende, mehr nebensächliche Erscheinungen. Diese beruhen

1) De Bary, Conjugaten. Leipzig 1858.

häufig auf gleichzeitig stattfindenden Aenderungen der untergeordneten Symmetrieverhältnisse im Plasmakörper der sich theilenden Zelle. So ist es, wie schon erwähnt, ein in den Gewebezellen ganz allgemein vorkommendes Verhalten, dass vor dem Beginn der eigentlichen Zelltheilungsvorgänge der Plasmakörper, der in der ruhenden Zelle monocentrische Symmetrie besass und einen einfachen Wandbeleg bildete, polycentrisch-gerüstförmigen Bau annimmt und seiner grösseren Menge nach im Inneren der Zelle sich ansammelt. Mit dem Fortschreiten der Theilung, besonders wenn sich dieselbe ihrem Ende nähert, stellt sich zugleich auch in jeder Theilzelle die monocentrische Symmetrie wieder her.

In anderen Fällen unterliegt der zur Theilung schreitende und in Theilung begriffene Plasmakörper tiefer eingreifenden, wenn auch nur ephemeren Organisationsänderungen. Das ist z. B. der Fall in sich theilenden thierischen Eizellen, wie weiter unten näher zu erörtern sein wird. Von fundamentaler Bedeutung für die gesammte Auffassung von der Mechanik der Zelltheilung ist es aber gewesen, dass in allen einkernigen Zellen, die der vegetativen Zweitheilung unterliegen, die Theilung des Zellkernes der der Zelle unmittelbar vorausgeht, resp. in sie eingreift. Die complicirten Vorgänge, welche sich dabei im Kern abspielen, haben das Interesse der Beobachter zunächst in überwiegendem Masse in Anspruch genommen und dazu geführt, dass dem Zellkern und seiner Theilung die massgebende Bedeutung für die Mechanik der Umlagerungsvorgänge im Zellplasma zugeschrieben wurde und auch meist noch wird. Schon Strasburger[1]) hat ausdrücklich auf das Unzutreffende dieser Auffassung hingewiesen, das sofort in die Augen springt, wenn man die Theilungsvorgänge in mehrkernigen Zellen, wie z. B. bei den Cladophoreen, Griffithien u. s. w., bei denen Zelltheilung und Kerntheilung in keiner Beziehung zu einander stehen, in Berücksichtigung zieht.

Die Vorgänge bei der Kerntheilung stehen vielmehr umgekehrt wesentlich unter dem Einfluss der Symmetrieverhältnisse des sich theilenden Plasmakörpers und diejenigen Fälle, in denen Zellkerne sich allein theilen, unabhängig von der Vermehrung der Zellen, wie in den vielkernigen Zellen der Algen und Pilze, in Embryosäcken u. s. w., sind als abgeleitete, als reducirte Zelltheilungsvorgänge aufzufassen, wie eine nähere Betrachtung der Einzelfälle ergibt.

Nach dieser orientirenden Uebersicht wird es nun passend sein, zunächst einige Specialfälle eingehender zu behandeln. Lehrreiche und

1) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. Jena 1880.

übersichtliche Beispiele der Zweitheilung einer Zelle würden uns thierische Eizellen, wie die der Echiniden, Ascidien u. s. w. darbieten, wenn bei diesen die schichtenförmige Differenzirung der Plasmakörper nicht gar zu wenig ausgeprägt wäre. Auch treten hier während der Theilung im Plasma noch besondere secundäre Differenzirungserscheinungen auf, welche die Einsicht in das Wesentliche des Vorgangs bedeutend erschweren.

Die Darstellung, die hier davon gegeben werden soll, schliesst sich darum, wie ich hoffe, zwar den thatsächlichen Verhältnissen, wie sie durch die Beobachtungen der früheren Forscher (besonders Bütschli, Fol, Auerbach, Hertwig, Strasburger, Flemming, v. Beneden) festgestellt sind, und über welche ich mich auch selber durch das Studium der befruchteten Eier von Echinus microtuberculatus und Ciona intestinalis eingehender orientiren konnte, durchaus an, sie geht aber doch in etwas darüber hinaus, indem gleich die Auffassung mit eingeflochten wurde, welche sich aus dem Vergleich mit den weiter unten näher zu behandelnden pflanzlichen Objecten und auf Grundlage der gesammten, in diesen Blättern vertretenen Anschauungen ergab.

Der Bau der befruchtungsreifen Eier der beiden obengenannten Formen ist jedenfalls ein rein monocentrischer, und zwar kann der Kern als das morphologische Centrum der Zelle aufgefasst werden, auch in denjenigen Fällen, wo er mehr oder weniger excentrisch in den Zellen gelagert ist. Denn auch dann ergibt die Untersuchung, dass die den Kern concentrisch umgebenden Schichten an den verschiedenen Seiten nur von verschiedener Dicke sind, dass aber neben dem Kern kein anderes Centrum in der Zelle vorhanden ist.

Die unmittelbare Folge des Befruchtungsactes ist nun zunächst die Contraction des Eiplasma, welche an der Stelle, wo das Spermatozoid seine Oberfläche berührte, beginnt und sich von hier rasch über die ganze Oberfläche ausdehnt. Bei Echinus microtuberculatus blieb die contrahirte Plasmamasse des Eies zunächst durch zahlreiche feine Plasmafäden mit der Eihülle in Verbindung. Später zerfallen diese Fäden in kleine Kügelchen, welche in dem mit heller Flüssigkeit erfüllten Raume moleculare Bewegung zeigen.

Ausser dieser mit Ausstossung von Flüssigkeit verbundenen Contraction des Eikörpers leitet die Befruchtung noch einen weiteren Entmischungsvorgang in diesem ein, der für das Aeussere der auftretenden Erscheinungen von massgebender Bedeutung wird. Bald nach dem Eintritt des Spermatozoids in den Eikörper sieht man an ihm einseitig eine Strahlung auftreten, die nach der Seite des Eikernes gerichtet ist.

Ist das Spermatozoid an den Eikern herangekommen — auf dem letzten Theil des Weges kommt ihm dieser ziemlich rasch entgegen — so breitet sich die Strahlung um beide aus. Nach Flemming soll

allerdings dabei eine besondere zweite Strahlung am vom Spermakern abgewandten Pole des Eikernes auftreten, also sofort eine dicentrische Symmetrie hergestellt werden, entgegen den Angaben der früheren Forscher, wonach zunächst die Anordnung der hellen Strahlen auf ein einziges Centrum hindeutet. Ich habe mir über diesen Punkt nicht volle Gewissheit zu verschaffen vermocht und auch Flemming hebt hervor, dass es schwer sei, darin eine sichere Entscheidung zu treffen. Ich möchte indessen diesem Differenzpunkt jetzt keine so grosse Bedeutung mehr beilegen. Bald nachher ist eine dicentrische Anordnung der Strahlen sicher vorhanden, unmittelbar vor der Befruchtung war der Plasmakörper sicher monocentrisch gebaut. Ob nun unter dem Einfluss des eingedrungenen Spermatozoids die dicentrische Symmetrie ein wenig früher oder später auftritt als der ebenfalls durch das letztere angeregte Entmischungsvorgang des Eiplasma, kann kaum von grosser Bedeutung für das Wesen der Sache erscheinen.

In der Umgebung der beiden Kerne sammelt sich nun die ausgeschiedene hyaline Masse, während das mit Dotterkörnchen beladene Plasma sich mehr gegen die Peripherie zurückzieht. Die die Strahlung bedingenden hellen Radien sind die Bahnen, auf welchen die ausgeschiedene Masse dem Zellcentrum zuströmt.

Ihr morphologischer Ort liegt nun jedenfalls innerhalb der den Kern aufnehmenden Plasmaschicht, wie sich sicher aus ihrem späteren Verhalten ergibt, trotzdem umhüllt sie zunächst den Kern allseitig. Aber wir sehen sie sich alsbald strecken und den Centren der neu zu bildenden Zellen zuwandern.

Dementsprechend nehmen die peripherisch gelagerten dotterführenden Plasmaschichten an den beiden Polen an Dicke ab, um dafür in der Aequatorialebene mächtig anzuschwellen (Taf. III, Fig. 9). In den beiden hellen Sonnen, die durch ein gestrecktes Stück, welches den Kern umschliesst, zunächst noch vereinigt bleiben, wird durch besondere Differenzirungsvorgänge, wie das van Beneden[1]) besonders schön bei Ascaris megalocephala vor wenigen Jahren beobachtet hat, eine concentrische Symmetrie deutlich angezeigt. Es entstehen die beiden „Polkugeln", die ich auch bei Echinus microtuberculatus einige Male, aber nicht immer gefunden habe. Diese Polkugeln, die van Beneden auch Attractionskugeln nennt, sind bei Ascaris megal. homogener als das übrige Eiplasma. In ihrem Innern liegen ein oder einige Polkörperchen, am Umfange achromatische Körperchen in einfacher Schicht. Die radiären Strahlen dringen vom Plasmakörper aus zum Theil bis in das Innere der Polkugeln vor. Ihre Fortdauer deutet noch immer auf Zufluss von hyaliner Substanz aus dem übrigen Plasma hin und in der

1) Archives de biologie. Bd. 4. 1883.

That nimmt auch ihre Masse in den neuen Zellcentren noch fortwährend zu.

Die Symmetrieverhältnisse im Eiplasma sind im Schema jetzt also die folgenden (vergl. Taf. III, Fig. 10): Die beiden Polkugeln bilden die Centra der neuzubildenden Zellen, die den Kern aufnehmenden Plasmaschichten umgeben sie und bilden zwischen ihnen eine gestreckte Brücke, welcher der Kern eingelagert ist. Die übrigen Plasmaschichten sind in der Aequatorialebene stark verdickt, nach den Polen zu dünner geworden.

Während nun in der Zelle diese Symmetrieverhältnisse bestehen, vollziehen sich im Kerne die später näher zu besprechenden bekannten Umlagerungsvorgänge, deren Resultat die Zweitheilung desselben ist. Ist diese erfolgt und sind die etwas auseinandergetretenen Kernschleifen im Begriff, sich wieder zu den neuen Tochterkernen zu vereinigen, so schnürt sich auch die Kernschicht des Eiplasma im Aequator ein und durch. Sie gestaltet sich damit zu zwei isolirten, hohlkugligen Schichten um, welche die Centra der Theilzellen umgeben und denen an der äquatorialen Seite je einer der Theilkerne eingelagert ist. Die letzteren krümmen sich mehr oder weniger concav gegen die neuen Centra, wie sich das aus der Lagerung der sie aufnehmenden Plasmaschichten ergibt. Die ganze Aequatorialebene hat sich während dem mit Dotterkörnchen führenden Plasma erfüllt, es bildet von der Zellperipherie aus eine breite Brücke. Gleichzeitig beginnt auch der Zellkörper von der Peripherie aus sich im Aequator einzuschnüren (Taf. III, Fig. 11).

Würde sich nun in den so entstandenen Tochterzellen der Zustand, welcher in der Eizelle vor dem Beginn der Theilung herrschte, wieder herstellen, so müsste die hyaline im Centrum der Zellen angesammelte Substanz sich wieder im übrigen Plasma vertheilen, sich wieder mit ihm mischen und der Kern wieder in das Centrum jeder Tochterzelle treten. Dazu kommt es aber nicht, das helle Centrum und die seitliche Lagerung des Kernes bleiben erhalten und sofort beginnt die weitere Zertheilung der Furchungszellen mit Wiederholung der beschriebenen Umlagerungserscheinungen.

Für die beiden Polkörper, welche die Centra der Strahlung im Plasma bilden, hat nun, wie schon oben erwähnt, van Beneden neuerdings den Namen „Attractionskugeln“ vorgeschlagen. Es dürfte besser sein, diese Bezeichnung zu vermeiden, da sie einer falschen Vorstellung über die Mechanik des Theilungsvorganges Vorschub leisten könnte. Weder die Polkörper, noch der Kern oder auch irgend ein anderer Bestandtheil der Zelle beherrscht für sich allein den Theilungsvorgang, sondern die Mechanik des letzteren kann nur aus dem Zusammenwirken aller Bestandtheile des gesammten Plasmakörpers verstanden werden.

Die an den Polen zuerst sich ansammelnden Massen der Polkörper

gehören den innersten Schichten des plasmatischen Systems an, darum geben sie zuerst ihren Zusammenhang im Aequator der Eizelle auf und wandern in die Centra der neu zu bildenden Tochterzellen. Successive durchschnüren sich hierauf im Aequator auch die folgenden Schichten des Plasmakörpers, bis zuletzt mit der Einschnürung der Hautschicht die Trennung der Plasmamassen der Tochterzellen vollendet wird.

Die Ausbildung der bipolaren Symmetrie im Plasma der Eizellen können wir auf Grund der im vierten Kapitel gegebenen Ausführungen über die Symmetrieverhältnisse verstehen, wie ist aber die Durchschnürung der Eizelle im Aequator mechanisch abzuleiten? Diese Durchschnürung muss entweder die Folge einer von aussen einwirkenden Druckkraft, oder eines nach innen in der Aequatorialebene angreifenden Zuges, oder einer Combination beider sein. Der Zerfall des kugligen Eikörpers in zwei Zellen ist nothwendig mit einer Oberflächenvergrösserung der Gesammtmasse verbunden, wobei gleichzeitig unter Verbrauch von Energie auch eine Vergrösserung der Summe der Oberflächenspannungen eintreten muss.

Es ist nun, wie die Verhältnisse liegen, nicht wohl eine Druckkraft angebbar, welche vom äusseren Medium aus wirkend die Durchschnürung der Zelle bedingen könnte. Als einzig möglich erscheint mir, soweit sich die Bedingungen augenblicklich übersehen lassen, nur die Vorstellung, dass zufolge der im Eikörper entstandenen bipolaren Symmetrie in der Aequatorialebene schliesslich derartige Mischungsverhältnisse hergestellt werden, dass die oberflächlichen Plasmaschichten sich in der Aequatorialebene gewissermassen pseudopodienartig nach innen vorzustülpen und einzuschnüren gezwungen werden. Dann wäre der Vorgang auf die Mechanik der allgemein verbreiteten Pseudopodienbildung frei in ein flüssiges Medium hinein zurückgeführt, für welche wir im dritten Kapitel eine physikalische Ableitung zu geben versucht haben.

Der Verlauf der Umlagerungen im Plasmakörper der sich theilenden Zellen, die gesetzmässige Einwanderung der aufeinanderfolgenden Plasmaschichten in die Aequatorialebene und die successive Zertheilung jeder vorhergehenden Schicht durch die nachfolgende lässt sich nun weit besser an manchen pflanzlichen Objecten studiren. Andererseits fehlen hier freilich, jedenfalls in der grossen Mehrzahl der Fälle, jene Polbildungen und die von ihnen radial ausstrahlenden Fäden, welche den Theilungsvorgängen in den besprochenen thierischen Eiern ein so charakteristisches Aussehen verleihen.

Nach den oben gemachten Ausführungen ist diese Differenz aber ganz nebensächlicher Natur, da die Strahlungen mit der Ausbildung der bipolaren Symmetrie im Eikörper direct nichts zu thun haben, sondern nur der Ausdruck gleichzeitig stattfindender Entmischungsvorgänge im

Eiplasma sind. Treten solche Entmischungsvorgänge während der Zelltheilung nicht auf, so fällt auch jeder Grund für die Ausbildung von Strahlensystemen fort.

Nahm vor der Theilung der Kern das Centrum der Zelle ein, so wird das auch in den Tochterzellen der Fall sein, lag hier aber ein Saftraum, so wird ein solcher auch im Centrum jeder Tochterzelle erscheinen, vorausgesetzt, dass die Symmetrieverhältnisse in ihr wieder dieselben sind, wie in der Mutterzelle.

Sehr einfach liegen die Verhältnisse in den sich theilenden Zellen von Cladophora-Arten, besonders auch deshalb, weil hier die Vermehrung der in jeder Zelle in grösserer Menge vorhandenen Kerne in gar keiner Beziehung zu der der Zellen selber steht.

Cladophora ist seit Mohl's[1]) und Pringsheim's[2]) Untersuchungen ein Lieblingsobject für das Studium des Zelltheilungsvorganges gewesen und auch neuerdings wieder von Strasburger[3]) eingehend behandelt worden. Wir können uns darum, auf des letzteren Darstellung verweisend, darauf beschränken, hier nur die wesentlichsten Punkte hervorzuheben. Besonders deutlich erkennbar ist, wie hier zunächst der Wandbeleg an der Stelle, wo die Theilung erfolgen soll, sich stark verdickt und sich allmählich mit sämmtlichen Schichten nach innen vorstülpt. In dieser Vorstülpung entsteht schliesslich als innerste Lamelle, an die Oberfläche der alten Membran sich ansetzend, in Form einer ringförmigen Lamelle, die neue Scheidewand. Dieselbe ist also auch hier sofort wieder beiderseits von einem Plasmabeleg überzogen, der denselben Bau, wie der normale Wandbeleg besitzt. Auch hier können wir den Vorgang mechanisch auf die Ausbildung eines ringförmigen Pseudopodiums in das Zelllumen hinein zurückführen.

Zu bemerken ist indessen, dass die richtige Auffassung des Vorganges dadurch etwas erschwert wird, dass die die neue Membran in sich ausscheidende Plasmamasse schon bald hinter dem fortwachsenden Rande derselben zum grossen Theil mit sämmtlichen Chlorophyllkörpern abgehoben wird, dadurch, dass sie sich vacuolisirt. So füllen sich die beiden ringförmigen Zonen beiderseits der neuen Membranlamelle grösstentheils mit Zellsaft, und die Hauptmasse des Plasma mit den Chlorophyllmassen durchzieht das Zellinnere von dem Innenrande der jungen Membran schräg gegen den Wandbeleg zu. Ein dünner Wandbeleg bleibt aber in den Ecken, wie auch Strasburger hervorhebt, immer erhalten. Auf die muthmassliche Bedeutung dieser Abhebung der grösseren Masse des Wandbelegs kommen wir weiter unten näher zurück.

---

1) Flora 1837.

2) Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. Berlin 1854.

3) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. S. 206.

Ein bequemes und instructives Object sind auch die freigewordenen Pollenmutterzellen von Tradescantia virginica, wenn sie zur Theilung schreiten. Dieselben führen einen grossen centralgelegenen Zellkern, das Plasma erfüllt in wenig dicker hohlkugliger Schicht den Raum zwischen ihm und der zarten Membran aus. Eine mehr oder minder grosse Zahl von Stärkekörnchen finden sich gleichmässig durch dasselbe vertheilt, nur die unmittelbare Nähe der Membran und des Kernes meidend.

Während nun im Kern die verschiedenen Umlagerungsvorgänge statthaben, zeigen sich im Plasma zunächst keine weiteren Veränderungen, bis zu dem Moment, wo die Kernplatte sich gebildet hat. Der Wandbeleg wird jetzt an den Polen der Kernspindel dünner und die Hauptmasse der Stärke sammelt sich zu zwei Ringen, die jederseits der Kernplatte gelagert sind (Taf. III, Fig. 13). In dem Masse, als nun weiterhin die Hälften der Kernplatte beiderseits den Polen zu wandern, sammelt sich die grössere Menge des Plasmakörpers nebst der Hauptmasse der Stärke im Aequator zu einem der Membran anlagernden Ringe an (Taf. III, Fig. 14). Der innere Rand dieses Ringes dringt allmählich vor und es entsteht zuletzt eine ziemlich dicke, geschlossene äquatoriale Platte, wie es die links liegende Zelle in Fig. 15, Taf. III zeigt.

Statt dass nun aber, wie bei Cladophora, innerhalb dieser Platte, von der alten Membran ausgehend, Ausscheidung von Cellulosesubstanz einträte, vollziehen sich hier die weiteren Vorgänge zunächst ohne directe Beziehung zu den peripherisch gelagerten Partien des Plasmakörpers. Im Innern der Stärkeplatte erscheint nach einiger Zeit jene helle, glänzende Masse von der Gestalt einer biconvexen Linse, welche von den Verbindungsfäden durchsetzt und später von der neuen Membran in zwei Hälften gespalten wird. Während des Lebens sind die Verbindungsfäden in ihr aber nicht zu erkennen, man sieht nur stark lichtbrechende, kleine Körnchen in geringer Menge, welche später zu beiden Seiten der neuen Membran symmetrische Lage einnehmen. Zwischen der die Verbindungsfäden führenden Masse und den mittlerweile auch wieder gebildeten neuen Tochterkernen findet man also, wie sich aus der vorstehenden Darstellung ergibt, sofort und immer Plasma mit Stärkekörnchen, wenn auch die grössere Menge der letzteren in der Nähe der Membran verbleibt, wie die rechte Seite in Fig. 15, Taf. III zeigt. Die Zellfäden stehen also nicht in directer Verbindung mit den Tochterkernen. Die letzteren liegen in den Tochterzellen zunächst stark excentrisch, den Polen genähert, sie bilden aber doch die morphologischen Centra der neuen Zellen, da ein Saftraum fehlt. Bald sind sie auch von stärkeführendem Plasma wieder allseitig umgeben.

Die neue Membranlamelle entsteht hier also zwar in einer besonders differenzirten hellen Masse von biconvexer Gestalt, deren Analogon

sich im Wandbeleg der ruhenden Zelle nicht findet, aber, von dieser Differenz abgesehen, liegt sie auch hier sofort wieder in einer Plasmamasse, welche zu ihren Seiten im wesentlichen die Schichtungsverhältnisse jedes normalen Wandbelegs zeigt. Für ihre Entstehungsmechanik ist es aber von ganz nebensächlicher Bedeutung, dass sie erst nachträglich, indem sie durch Wachsthum am äusseren Rande sich vergrössert, mit der alten Membran in Verbindung tritt.

Ein besonders instructives Object, welches die allmähliche Einwanderung der einzelnen Plasmaschichten zwischen die Tochterkerne vor dem Auftreten der neuen Membran besonders schön zeigt, fand ich in den keimenden Sporen von Equisetum arvense. Die Verhältnisse liegen aber bei diesen dadurch anfangs viel weniger übersichtlich, weil sich lange vor der Zertheilung des Kernes mit dem Beginn der Keimung der grösste Theil des Sporenplasma in das Innere der Zelle zu einer invers geschichteten Masse zusammenzieht, während die reife Spore, wie schon im ersten Kapitel näher ausgeführt wurde, einen schön normal geschichteten, monocentrischen Plasmakörper mit central oder anscheinend central gelegenen Kern aufweist. Leider erschwert bei diesem Object noch ein anderer Umstand das Studium der Theilungsvorgänge sehr, nämlich die meist allzugrosse Undurchsichtigkeit der Sporen. Indessen findet man immer eine Anzahl, die hinreichend durchsichtig sind. Aber auch an solchen ist es in der Regel nicht möglich, den Theilungsvorgang ohne Unterbrechung von Anfang bis zu Ende zu verfolgen, weil in der Regel der Zellinhalt während der Theilung Drehungen ausführt, infolge deren die Theilungsfiguren in so ungünstige Lage kommen, dass eine weitere Verfolgung an dem betreffenden Object unmöglich wird. Aus diesem Grunde habe ich mich begnügen müssen, die Umlagerungsvorgänge im Plasma während der Theilung nur durch beigegebene, ganz schematisch gehaltene Skizzen zu verdeutlichen.

Etwa zwölf Stunden nach der Aussaat im Wasser des hängenden Tropfens (Ende April und Anfang Mai) war der anfangs central gelegene Kern stark nach einer Seite hinübergewandert. Zwischen ihm und der Membran liegt jetzt nur noch eine dünne Plasmaschicht, die ausser den dunklen Körnchen in der unmittelbaren Umgebung des Kernes wenige Chlorophyllkörper und unmittelbar der Wand benachbart wenige der in Kapitel 1 näher beschriebenen, stark glänzenden linsenförmigen Tröpfchen enthält. An der gegenüberliegenden Seite sind alle Plasmaschichten stark verdickt, die Gesammtsymmetrie des Plasma ist also wie es die Skizze Fig. 1, Taf. IV zeigt.

Während nun der Kern sich mehr und mehr in tangentialer Richtung ausbreitet und der Nucleolus in ihm sich zu lösen beginnt, fangen an der gegenüberliegenden Zellseite die wandständigen Plasmaschichten an, sich gegen die chlorophyllführende Schicht vorzustülpen und in sie

hineinzuwandern. Man sieht bei anhaltender Beobachtung, wie sich von ihnen dicke, plumpe Fortsätze erheben, wie diese sich ablösen und in das Innere der chlorophyllhaltigen Schichten hineinwandern. So sammelt sich hier allmählich ein dunkler Haufen von Wandplasma an. Die Symmetrieverhältnisse werden jetzt etwa durch die Figg. 2 und 3, Taf. IV wiedergegeben.

Der Kern hat sich mittlerweile noch mehr in radialer Richtung abgeflacht, die Plasmamasse, in der er liegt, noch mehr ausgebreitet. Die Contouren des Kernes sind im Leben nicht mehr scharf zu erkennen, die helle Plasmamasse, die ihn enthält, zeigt aber sternförmige Umrisse. Der Nucleolus ist verschwunden.

Im Innern der Zelle haben wir jetzt eine invers geschichtete Plasmamasse, deren Mitte ein Theil des Wandplasma einnimmt, umgeben von einer chlorophyllführenden Schicht. Der letzteren liegt der Zellkern einseitig auf. Die Membran bleibt in ihrer ganzen Ausdehnung von einem dünneren Wandbeleg mit normaler Schichtung belegt. Zwischen diesem Wandbeleg und der centralen, invers geschichteten Masse ist aber eine scharfe Grenzlinie nicht nachweisbar, die Grenze wird von den den Kern aufnehmenden Plasmaschichten gebildet, welche beiden Systemen angehören. Die Symmetrieverhältnisse sind also, wie es das Schema 4, Taf. II angibt.

Der helle, den Kern enthaltende Fleck zeigt langsame, unregelmässige Gestaltveränderungen, schliesslich streckt er sich etwas und es erscheint in der Mitte eine schwache Einschnürung. Der übrige Theil der inneren, invers geschichteten Plasmamasse streckt sich aber ebenfalls, jedoch in einer dazu senkrechten Ebene. Hiermit sind nun langsam sich abspielende Umlagerungsvorgänge eingeleitet, infolge deren zuletzt die währenddem entstehende Theilungsfigur des Kernes eingelagert wird in einen äquatorialen Plasmacylinder, der sich aus dem invers geschichteten Plasmahaufen herausbildet. Die Kernfigur wandert damit wieder etwas in das Innere der Zelle hinüber.

Während die Einschliessung der Kernfigur durch das chlorophyllhaltige Plasma allmählich und ziemlich unmerksam erfolgt, entsteht aus dem tröpfchenführenden Wandplasma, welches ihm eingelagert war, meist mehr oder weniger plötzlich, allerdings nach manchen vergeblichen Anläufen, ein äquatorialer Ring, der aber ebenfalls dem kurz vorher entstandenen chlorophyllführenden Plasmacylinder wieder einlagert ist. Die Symmetrieverhältnisse sind also jetzt, wie es die Skizze 5, Taf. IV angibt.

Bei Beginn der Bildung des erwähnten äquatorialen Ringes aus Wandplasma lösen sich zunächst von der Hauptmasse einzelne Partien ab und vertheilen sich in der Aequatorialebene, oft sieht man kurze Zeit deutlich ringförmig angeordnete einzelne graue Plasmahaufen,

dann sind sie wieder kaum zu erkennen. Schliesslich ist dann ein dauernd geschlossener Ring von nach den Einzelfällen wechselnder Dicke und Masse nachzuweisen. Ich glaube indessen nicht, dass dieser Ring sich ausnahmslos immer bildet. Die Menge des bei Beginn der Theilung vom Wandbeleg sich lösenden und nach innen wandernden Plasmas wechselt nach den Einzelfällen sehr. Schritt die Keimung bei warmer Temperatur rasch vor, so schien sie mir geringer zu sein, als bei langsamerer Entwicklung infolge niedrigerer Temperatur oder grösseren Alters der Sporen. Auch ist die absolute Menge des in der Spore vorhandenen Wandplasma, die, wie früher erwähnt, nach den Einzelfällen ziemlich schwankt, hierfür von massgebender Bedeutung. In einigen Fällen war darum der besprochene Ring sehr auffallend, in anderen nur schwer nachzuweisen.

Während die vorstehend beschriebenen Umlagerungsvorgänge erfolgen, ist der innere Rand des chlorophyllhaltigen Plasmacylinders in der Aequatorialebene mehr oder weniger tief in die Kernfigur eingedrungen. Es ist nicht daran zu zweifeln, dass sie dieselbe, wie bei Tradescantia, schliesslich vollständig durchtrennt. Doch ist das hier zunächst darum nicht sicher nachzuweisen, weil anfangs die Chlorophyllkörper selber jedenfalls nur in geringer Zahl bis zur Mitte vordringen. Bald nachher kann man sie aber der Innenseite der in Bildung begriffenen neuen Kerne, wie bei Tradescantia die Stärkekörnchen, aufliegen sehen.

Ist das chlorophyllhaltige Plasma in der Aequatorialebene ziemlich weit nach innen vorgedrungen, so beginnt nun auch der eingelagerte Ring aus Wandplasma sich zu verengen und zuletzt zu einer Platte zu schliessen. Bald darauf erscheint auch hier in der Aequatorialebene in Form einer biconvexen Linse die hyaline Masse, in welcher die Zellfäden und die neue Membran auftreten. Die Platte aus Wandplasma wird durch diese Masse gespalten und ihrer Hauptmenge nach zurückgedrängt. Dadurch nimmt sie an ihrem Innenrande einen gabligen Contour an, während die die biconvexe Masse seitlich überdeckenden Lamellen nur als feine, körnige Linien auffallen. Auch schon vorher sind eine Anzahl anderer, sich entsprechender zarter Linien hin und wieder beiderseits von der Aequatorialebene gegen die neuen Kerne zu zu erkennen. In dem Masse, als neue Plasmamassen im Aequator einwandern, rücken sie seitlich auseinander.

Das Charakteristische des vorliegenden Zelltheilungsvorganges liegt also darin, dass sich die grössere Menge des Plasmakörpers der Zelle einem restirenden dünnen Wandbeleg gegenüber individualisirt und dass die gesammten Umlagerungserscheinungen, die Herstellung der bipolaren Symmetrie u. s. w. nur in dieser inneren Plasmamasse erfolgen, während wir fanden, dass bei Tradescantia nur die biconvexe hyaline

Masse mit den Zellfäden und der jungen Membran ohne Verbindung mit dem Wandbeleg war.

Sehr bemerkenswerth und bedeutungsvoll für das Verständniss der Theilungsmechanik sind einige Beobachtungen, die bei der Aussaat von etwa acht Tage altem Sporenmaterial gemacht werden konnten. Bekanntlich verlieren die Equisetumsporen ihre Keimungsfähigkeit sehr rasch. Mit zunehmendem Alter nimmt die Energie der Lebensthätigkeit allmählich ab, bis sie zuletzt ganz erlischt. Keimungsunfähig waren bei Eq. arvense Sporen, die mehr als acht Tage alt waren.

Die beobachteten Abweichungen bestanden nun in einer Anzahl von Fällen darin, dass sich auf dem durch die Skizze 4 dargestellten Entwicklungszustande in dem centralen Theil des Wandplasma von sternförmigem Umriss eine stark lichtbrechende, hyaline Masse ansammelte, äusserlich ganz von dem Aussehen eines Kernes. Später bildete sich in ihr noch ein nucleolusähnlicher kleinerer Tropfen. Die Bedeutung dieser Masse ergibt sich aus ihrem weiteren Verhalten. Sobald sich nämlich der äquatoriale Ring von Wandplasma gebildet, so begann die in einer einseitigen Anschwellung desselben liegende Masse auffallend und rasch ihre Lage zu ändern. Bald lag sie hoch oben, bald tief unten, bald an der einen, bald an der anderen Seite im Sporenplasma. Zuletzt zwängte sie sich definitiv in die Aequatorialebene ein und kam in die Mitte des Ringes zu liegen, da, wo beim normalen Verlauf der Theilung die biconvexe Masse mit den Zellfäden sich bildet. Es ist in der That ganz dieselbe Masse, die nur in diesen Fällen verfrüht zur Ausscheidung gekommen war. Oder besser, die Einwanderung des Wandplasma in die Aequatorialebene hatte sich soweit verzögert, dass die Masse der biconvexen Platte in ihm schon auftritt, während es noch neben dem in Theilung begriffenen Kern sich befindet, die centrale Plasmamasse also noch inverse, statt der späteren bipolaren Symmetrie besitzt.

Der oben erwähnte, stark lichtbrechende, nucleolusähnliche Tropfen in dieser Masse dürfte mit der Gesammtmasse der Tröpfchen zu identificiren sein, die unmittelbar vor dem Auftreten der neuen Membran im Aequator der Zelle als Anschwellungen der einzelnen Zellfäden nachweisbar sind.

Erwähnt mag hier noch werden, dass dieser kleinere Tropfen sich an einem Objecte nach dem Uebertritt der ganzen Masse in die Aequatorialebene zuerst ebenfalls linsenförmig ausbreitete, um sich weiterhin in eine grössere Anzahl einzelner Tröpfchen aufzulösen, welche sich durch die ganze Masse hindurch in der Aequatorialebene anordneten. Da ich diese Beobachtung indessen nur einmal machen konnte, so mag sie hier nur nebenbei angeführt sein.

In einigen anderen Culturen war in den etwa 8 Tage alten Sporen

Theilung theilweise gar nicht, theilweise nur sehr langsam und unvollständig erfolgt. In manchen Sporen war die Entwicklung nur bis zur Bildung des oben besprochenen farblosen Tropfens im centralgelegenen Wandplasma gediehen. In anderen hatte sich in diesem Tropfen an Stelle des nucleolusähnlichen Gebildes eine unregelmässig umgrenzte, stark lichtbrechende Masse ausgeschieden, welche sich als von celluloseähnlicher Natur erwies. Dieser Fall ist besonders instructiv. In noch anderen Sporen war das Wandplasma auf der Wanderung nach innen mit dem Wandbeleg in Verbindung geblieben und es hatte sich innerhalb der so von der Wand nach innen vorspringenden Leisten und Klumpen celluloseartige Masse abgelagert, die sich an die Sporenmembran innen ansetzte. Oft fanden sich solche Vorsprünge an mehreren Stellen.

In vielen Fällen hatte auch der Kern die Theilung vollendet, es war aber keine Cellulosenwand gebildet worden, oder diese letztere hatte sich nur theilweise ausgebildet und bestand ebenfalls aus dickeren, stark lichtbrechenden Massen.

Durch den vorstehend beschriebenen Theilungsvorgang wird bekanntlich die Equisetum-Spore in zwei sehr ungleiche Theilzellen zerlegt. Bevor sich die neue Membran an die alte Sporenmembran seitlich anlegt, verschiebt sich die Theilungsfigur und die neue Membranlamelle krümmt sich stark uhrglasförmig, und setzt sich unter oft sehr spitzen Winkeln an die alte Membran an.

Nach Stahl's[1]) neueren Untersuchungen ist die Lage der kleineren, nur sehr wenig chlorophyllhaltigen Zelle, die bekanntlich zum Rhizoid auswächst, abhängig von der Richtung des einfallenden Lichtes, indem sie constant an der von der Lichtquelle abgewandten Seite der Spore liegt.

Ein Verhalten, welches in allen principiell wichtigen Punkten sich dem der Sporen von Equisetum arvense anschliesst, dürften nun die meisten Pflanzenzellen bei der Theilung zeigen, wenigstens die meisten von denjenigen, die im ruhenden Zustande einen Saftraum besitzen. So nach meinen Erfahrungen die sich theilenden Zellen des jungen Markes und Grundparenchyms von Stengeln und Blättern bei Tradescantia subaspera, Hyacinthus, Galanthus, Leucojum u. a. Amaryllidaceen, im Mark von Papaver Rhoeas, Rumex, Tragopogon und bei noch vielen anderen Formen, wie aus den diesbezüglichen Angaben von Strasburger und anderer Forscher entnommen werden kann.

In den ruhenden Zellen scheint hier der Plasmakörper vorwiegend wandständig zu sein. Die ersten Vorbereitungen zur Theilung bestehen aber darin, dass der Kern sammt der grössten Menge des übrigen Plasma

1) Berichte der deutsch. botan. Gesellsch. Bd. 3. 1885. S. 334.

in das Centrum der Zelle wandert, und hier durch zahlreiche Plasmafäden suspendirt erhalten wird (Taf. IV, Fig. 8). Der zurückbleibende Wandbeleg ist meist spärlich, in Präparaten von Papaver und Rumex fand ich alle Chlorophyllkörper, in solchen von Tradescantia subaspera (Epidermiszellen) fast alle Stärkebildner in der centralen Plasmamasse um den Kern angehäuft.

Wie sich in dieser Plasmamasse nun die Symmetrieverhältnisse im Einzelnen bei Beginn und während der Zelltheilung ausgestalten, ist mit Sicherheit nicht zu ermitteln. Zum Theil, weil die betreffenden Zellen im Leben zu wenig zugänglich, zum Theil, weil differente Plasmaschichten, wie in den Equisetum-Sporen bei ihnen zu wenig ausgebildet sind. Die Einlagerungen, welche dafür sonst die Anhaltspunkte abgeben, fehlen entweder, oder sie sind zu schwer erkennbar, wie die meisten Stärkebildner, oder auch zu gross und nur in zu geringer Menge vorhanden, wie die Chlorophyllkörper in den erwähnten Markzellen.

Dass in ihr aber alles im wesentlichen so verläuft, wie bei Equisetum, ist nicht zu bezweifeln, nur eine inverse Schichtung scheint die centrale Plasmamasse hier von Anfang an nicht anzunehmen, ich fand den zur Theilung sich anschickenden Kern sofort von Chlorophyll, resp. Stärkebildner führendem Plasma rings umgeben. Auf späteren Stadien fand ich dann auch bei Hyacinthus Stärke zwischen der Platte der Zellfäden und den Tochterkernen. Aber es sind in diesem Falle nur verhältnissmässig wenige und kleine Körnchen, die sich hier ansammeln, die grössere Menge der Stärke, welche meist ziemliche Korngrösse besitzt, verbleibt im Wandbeleg und zwar angehäuft an zwei den Spindelpolen gegenüberliegenden Stellen, da, wo sich das axile Plasmaband, in welchem sich die Theilung des Kernes hier abspielt, an die gegenüberliegenden Querwände der Zellen anlegt.

Eine schön ausgebildete Stärkeplatte, wie in den Pollenmutterzellen von Tradescantia, fand ich auch noch in sich theilenden Sporenmutterzellen von Aspidium Serra, lange, bevor von den Zellfäden etwas zu sehen war.

Nachdem wir in den vorstehenden Ausführungen in grossen Zügen die Umlagerungen verfolgt haben, welche im Plasmakörper der zur Zweitheilung schreitenden Zellen stattfinden, ist es nun auch möglich, auf das Detail derselben näher einzugehen. Denn ein sehr bedeutsamer Theil dieses letzteren wird nur verständlich, wenn die Veränderungen, die gleichzeitig in der Gesammtsymmetrie des Plasmakörpers vor sich gehen, mit ins Auge gefasst werden.

Es handelt sich hierbei in erster Linie um die Besprechung der im Zellkern stattfindenden Umlagerungen. Im voraus ist aber zu bemerken, dass es an dieser Stelle selbstverständlich nicht unsere Aufgabe sein kann, eine Uebersicht über die Gesammtheit der darüber bisher bekannt gewordenen Thatsachen zu geben. Dafür mag ein für alle Mal auf das ausgezeichnete Werk von Flemming, sowie auf die seitdem erschienenen neueren Arbeiten verwiesen sein.

Meine Absicht konnte es nur sein, hier kurz das Principielle, oder das, was mir von den hier entwickelten Gesichtspunkten aus als principiell wichtig erscheinen musste, hervorzuheben. Dass die dabei entwickelten Auffassungen und Erklärungsversuche z. Th. nur sehr wenig befriedigen können, dass an eine abschliessende Lösung der meisten hier aufstossenden Fragen noch kaum gedacht werden kann, weiss ich nur allzugut. Aber der Versuch, die bisher bekannt gewordenen Thatsachen auf Grundlage unserer Protoplasmatheorie zu beleuchten, durfte hier nicht umgangen werden, und vielleicht dürften sich auch einige der sich so ergebenden Folgerungen für die weitere Forschung nicht als ganz nutzlos erweisen.

Ziemlich kurz können wir uns fassen über die ersten Umlagerungen, die in dem zur Theilung sich anschickenden Kern vor sich gehen. Unter Volumzunahme des Ganzen beginnt in denjenigen Kernen, die schon im ruhenden Zustande einen einfachen Fadenknäuel enthalten, der letztere sich zu verkürzen und zu verdicken, wo dagegen im ruhenden Kern ein Gerüstwerk vorliegt, da bildet sich aus diesem zuerst ein glatter, überall gleich dicker Faden heraus. Wie die Vergleichung der Massen zeigt, muss der Kernfaden während dieser Vorgänge Substanzen irgend welcher Art, wenn auch nur in gelöstem Zustande in ziemlich beträchtlicher Menge aufnehmen, mag das nun unmittelbar aus der umgebenden Grundsubstanz des Kernes, oder aus dem übrigen Plasma geschehen. Auch welcher Natur diese aufgenommenen Substanzen sein mögen, ist nicht zu entscheiden, denn wenn wir auch nach dem Augenschein annehmen dürfen, dass die Nucleinmenge des Kernfadens während dieser Vorgänge sich vermehrt, so ist es doch unbekannt, ob das Nuclein als solches von aussen zuwandert, oder ob es an Ort und Stelle erst gebildet wird, was wahrscheinlicher ist.

Wie die Hervorbildung des glatten Kernfadens aus dem Gerüstwerk mechanisch zu verstehen ist, muss dahingestellt bleiben. Auch wenn wir mit Strasburger[1]) neuerdings annehmen, dass in dem Gerüstwerk des Kernes der Faden als solcher persistire, so bleibt die Frage eine nicht minder schwierige.

Die zähe, gummiartige Consistenz der Kernmasse dürfte für den

1) Botanische Zeitung 1885. S. 70.

Modus der gesammten Formwandlungen in ihr von massgebender Bedeutung sein.

Die weiterhin allmählich eintretende Contraction und Verdickung des Kernfadens lässt sich auf das Bestreben jedes ausgezogenen Flüssigkeitsfadens sich zu verkürzen zurückführen, wenn wir annehmen, dass mit Beginn der Formwandlungen im Kerne die Intensität der Oberflächenspannung zwischen Kernfaden und Kerngrundmasse zugenommen hat.

Auch die Kerngrundmasse nimmt während dieser Zeit an Volumen zu und erleidet jedensfalls Aenderungen in ihrer Zusammensetzung, wie schon die jetzt viel geringere Tinctionsfähigkeit gegenüber dem ruhenden Zustande beweist. Hierauf hat besonders auch Strasburger[1]) neuerdings bei Besprechung der Kerntheilungsvorgänge im Embryosack von Fritillaria ausdrücklich hingewiesen.

Die Grundmasse kann bei diesen Stoffaustauschvorgängen jedenfalls nur Wasser oder wässrige Lösungen aufnehmen, da sie scharf gegen das Protoplasma abgegrenzt, resp. noch mit Membran umgeben ist. Zu bezweifeln ist auch nicht, dass sie dabei dünnflüssiger wird, wie sich das besonders an den Kernen von Pollenmutterzellen (Tradescantia, Allium, Lilium u. s. w.) erkennen lässt, die später grössere Flüssigkeitsmengen ausstossen. Das Lichtbrechungsvermögen der Kerngrundmasse wird hier so herabgesetzt, dass sie im Leben den Eindruck einer Vacuole macht.

Die Bewegungen, welche der Kernfaden, resp. die aus ihm mittlerweile entstandenen Segmente während dieser Zeit machen, indem sie mehr oder weniger an die Peripherie des Kernes rücken, um später umgekehrt in das Innere zu wandern, dürften sich aus concentrischen Schichtungen in der Grundmasse erklären. Bei dem lebhaften Substanzaustausch durch Diffusion, der um diese Zeit nachweislich zwischen ihr und dem umgebenden Plasma statthaben muss, dürfen wir die Ausbildung nach concentrischen Schichten sich ändernder Zusammensetzungsdifferenzen mit Recht annehmen. Und es ist bei der stattfindenden Aenderung der Zusammensetzung begreiflich, wie der Kernfaden anfangs seine Ruhelage an der Peripherie, später aber mehr im Innern der Grundmasse finden kann.

Um diese Zeit, nach den Einzelfällen etwas früher oder später, verschwindet auch der Nucleolus, er löst sich in der Grundmasse auf nach Strasburger's[2]) neuesten Angaben, während er nach Heuser[3]) und Anderen in die Masse des Kernfadens eintreten sollte. Meine an Hyacinthus, Galanthus, Leucojum, Fritillaria erhaltenen Resultate stim-

1) Die Controversen der indirecten Kerntheilung. Bonn 1884.
2) Controversen. S. 8.
3) Botan. Centralbl. Bd. 17. 1885. S. 58.

men mit Strasburger's Befunden überein, und auch Zacharias[1]) hat thatsächlich dasselbe beobachtet, wenn er auch lieber nur eine Vertheilung der Masse des Nucleolus in der Grundsubstanz annehmen will, nicht eine wirkliche Lösung. Es scheint mir indessen kein Grund vorzuliegen, die durch den Augenschein nahegelegte Annahme einer wirklichen Lösung von der Hand zu weisen. Die Lösung des Nucleolus scheint in vielen Fällen von amöboiden Formänderungen begleitet zu sein. Verschiedene Beobachter haben darüber berichtet, so Bütschli, la Valette St. George, A. Brandt, Metschnikoff, Auerbach, Eimer[2]), für pflanzliche Objecte neuerdings Zacharias[3]), der sie bei Chara bei der Kerntheilung nachwies.

Ich selber konnte sie sehr schön während des Lebens in den keimenden Sporen von Equisetum arvense studiren. Nach unseren im dritten Kapitel im Bezug hierauf gemachten Ausführungen muss das Auftreten dieser Amöboidbewegungen unter den vorliegenden Umständen als naheliegend erscheinen. Dass sie aber doch nicht immer auftreten, geht daraus hervor, dass auch oft die Lösung des Nucleolus von innen heraus erfolgt. Dabei entstehen in ihm eine oder mehrere Vacuolen, welche sich vergrössernd ihn zu einer Hohlkugel aufblähen. Diese kann später in einzelne Stücke zerfallen. Solche Fragmente des in Lösung begriffenen Nucleolus sind vielfach beschrieben, ganz neuerdings hat Hegelmaier[4]) den Vorgang im Embryosack von Caltha näher verfolgt und eine Reihe von Stadien abgebildet.

In der Grundmasse der Kerne von Pollenmutterzellen soll um diese Zeit nach Strasburger's[5]) früheren Angaben ein sogenannter Excretkörper auftreten und nach aussen entleert werden. Aber nach Guignard[6]) und Zacharias[7]), denen auch ich mich anschliessen muss, ist dieser Excretkörper nichts anderes, als der einseitig an die Kernwand herangetretene Nucleolus, der bald darauf in Lösung übergeht. Dass derselbe in diesen Objecten einseitig gegen die Aussenwand des Kerns wandert, erklärt sich aus den Symmetrieverhältnissen, welche der Plasmakörper der betreffenden Zellen um diese Zeit aufweist. Wie im letzten Kapitel näher dargelegt werden soll und in Fig. 12, Taf. III für Tradescantia dargestellt ist, liegt um diese Zeit der Kern in der Zelle excentrisch, das stärkeführende Plasma ihm einseitig auf. Der Plasmakörper besitzt inverse Schichtung, was mit der um diese Zeit

1) Botan. Zeitung 1885.
2) Siehe Flemming a. a. O. S. 156.
3) Botan. Zeitung 1885.
4) Nova Acta. Bd. 49. S. 18. 1885.
5) Theilungsvorgang der Zellkerne u. s. w. Bonn 1882.
6) Ann. d. Sc. nat. Sér. VI. T. XVII. 1884.
7) Botan. Zeitung 1885.

stattfindenden Auflösung der alten Mutterzellmembran im Zusammenhang steht. Dadurch erklärt sich aber, dass die Kernmasse dorsiventrale Symmetrie annimmt und der in Lösung begriffene Nucleolus dadurch in ihr einseitig verschoben wird. Er nähert sich der der Zelloberfläche zugewandten Kernseite.

Am Schluss dieser ganzen ersten Umbildungsvorgänge verschwindet auch die Kernmembran. Der Kern gibt die scharfe Abgrenzung gegen das Plasma auf, das letztere dringt nach Strasburger jetzt in ihn ein. Pfitzner[1]) und Zacharias[2]) leugnen das freilich, indem nach ihnen die Grundmasse des Kerns sich nicht mit dem Plasma mischen, sondern fortwährend von ihm gut getrennt bleiben soll. Mir scheint diese letztere Auffassung in ihrer Allgemeinheit jedenfalls unhaltbar. An lebenden und conservirten Pollenmutterzellen z. B. von Tradescantia virginica ist auf diesem Stadium eine Grenze zwischen der Grundmasse des Kerns und der umgebenden Plasmamasse nicht nachweisbar. Die Abschnitte des Kernfadens liegen allem Anschein nach frei im Plasma, ja, ich glaube mich sicher überzeugt zu haben, dass um diese Zeit einzelne Stärkekörnchen mitten zwischen die Kernfadensegmente bis in die Nähe der Zellmitte vordringen können.

Vorher wird aus der stark aufgeblähten Grundmasse des Kerns viel Flüssigkeit an das umgebende Plasma abgegeben.

Auch bei Allium fallax ist das sehr auffallend. Gleichzeitig zieht sich das ganze Zellprotoplasma, wie schon oben erwähnt, stark zusammen und löst sich von der Membran ab.

Für diese Fälle haben wir also an einer Mischung der Kerngrundmasse mit dem Plasma festzuhalten, die Kernfäden liegen frei in dem letzteren.

Damit möchte ich aber nicht behaupten, dass das immer so sei, und auch Strasburger dürfte das keineswegs annehmen wollen. Eine Reihe unwiderleglicher Befunde sprechen ja dagegen. Schon Flemming hat nachgewiesen, dass bei einer Spirogyra die Kernmembran noch lange erhalten blieb, nachdem im Kern die Theilungsvorgänge schon viel weiter vorgeschritten waren, als wir sie bisher besprochen haben. Eine directe Vermischung der Kerngrundmasse mit dem Protoplasma ist dadurch natürlich ausgeschlossen. Mir selber sind seit mehreren Jahren Objecte bekannt, bei denen der in Theilung begriffene Kern nie seine scharfen Contouren gegen das Protoplasma aufgibt, nämlich die marinen Algen Codium, Bryopsis, Derbesia und besonders Valonia macrophysa. Schon an anderer Stelle[3]) habe ich einiges über den Kerntheilungsvorgang bei diesen Formen mitgetheilt, wir wollen

1) Morpholog. Jahrbuch. Bd. 11. 1885.
2) Ref. darüber. Botan. Zeitung 1885. S. 457.
3) Mitth. der zool. Station zu Neapel. Bd. 2. Heft 1. 1880.

indessen auf diese Objecte hier nicht näher eingehen, da es für die hier speciell zu verfolgenden Zwecke nicht nöthig erscheint.

Nach Pfitzner soll aber auch in den Gewebezellen von Salamandra entgegen den Angaben von Flemming die Grundmasse des alten Kerns nie ihre scharfen Contouren gegen das Plasma aufgeben.

Es ist nicht wahrscheinlich, dass eine solche Thatsache einem so genauen Beobachter wie Flemming sollte entgangen sein. Auch für die meisten pflanzlichen Objecte trifft die Pfitzner'sche Anschauung unter keinen Umständen zu. Dennoch scheint es mir sicher, dass eine vollständige Vertheilung der Kerngrundmasse in dem Zellprotoplasma in den meisten Fällen nicht statthat, sondern dass in dieser Beziehung eine Reihe von Variationen vorkommen, denen aber für die Mechanik des Kerntheilungsvorganges eine grössere Bedeutung nicht zuzuschreiben ist.

Im Knäuelstadium des Kerns findet nun auch in der Regel, je nach den Objecten mehr oder weniger frühzeitig der Zerfall des Kernfadens in eine Anzahl isolirter Stücke, seine Segmentirung statt. Nicht selten verspätet sich dieselbe freilich auch bis in das Stadium der fast vollendeten Kernplatte.

Diese Segmentirung liesse sich nun wohl ihrer Mechanik nach der Segmentirung eines labil gewordenen Flüssigkeitscylinders gleichsetzen. Wir haben oben die Verkürzung und Verdickung des Kernfadens auf die Wirkung gesteigerter Oberflächenspannung zurückzuführen versucht. Es ist nun naheliegend, dass dieselbe, wenn eine weitere Verkürzung nicht mehr, oder nicht mehr in ausreichendem Masse möglich ist, schliesslich hinreichend intensiv werden kann, um die Widerstände, welche die Trägheit der zu bewegenden Massen, sowie die bedeutende Cohäsion des Kernfadens einem Zerfall in einzelne Abschnitte entgegensetzen zu überwinden. Je nach den Modificationen, welche hinsichtlich der relativen Intensitäten der dafür massgebenden Kräfte hier möglich sind, nach der Dicke, welche der Kernfaden angenommen hat und der Länge, welche er insgesammt noch besitzt, werden die entstehenden Theilstücke von sehr wechselnder Länge und sehr verschieden an Zahl sein können. Es ist aber a priori wahrscheinlich, dass im allgemeinen für dieselbe Pflanze, resp. für sich entsprechende Zellen derselben die Zahl und Länge der Segmente immer annähernd die gleiche sein wird, da wir annehmen dürfen, dass unter diesen Umständen bei jeder Theilung die massgebenden Verhältnisse nach Qualität und Quantität wesentlich die gleichen sein werden.

Im übrigen ist aber die Länge aller Theilstücke keineswegs in jedem Einzelfalle die gleiche, wie auch neuerdings C. Rabl[1]) aus-

1) Morphol. Jahrb. Bd. 10. 2. Heft. 1884.

drücklich hervorgehoben hat. Man kann sich bei pflanzlichen Objecten, wie Tradescantia, Hyacinthus, Leucojum, Cypripedium u. a. m. ohne Schwierigkeit hiervon überzeugen.

Es lässt sich nun freilich nicht sagen, ob in der That die vorstehende Auffassung für die mechanische Erklärung der Segmentirung des Kernfadens zutreffend ist, da ja alle sicheren Anhaltspunkte zur Entscheidung darüber fehlen. Es lässt sich auch annehmen, dass in dem Kernfaden unter dem Einfluss des in ihm selber und im umgebenden Plasma stattfindenden Chemismus in gewissen Abständen wiederkehrende Zusammensetzungsdifferenzen aufträten, welche für die Durchschnürung an diesen Stellen massgebend wären. Dieselbe Auffassung haben wir oben für die Durchschnürung, einer thierischen Eizelle bei der Theilung geltend gemacht und auch für die Ableitung der Theilung der Chlorophyllkörper herbeigezogen. Vielleicht spricht die geringe Länge der Kernfadensegmente, wie wir sie z. B. bei Orchideen (z. B. Cypripedium insigne) beobachten können, mehr für das Zutreffen dieser Möglichkeit.

Die nach dem Eintritt der Segmentirung wieder beginnende weitere Verkürzung der Abschnitte erklärt sich aus dem fortdauernden Bestreben, die Oberfläche möglichst zu vermindern, welches auch die Verkürzung des Gesammtfadens bedingte. Sie geht bekanntlich nach den Einzelfällen sehr verschieden weit, die verschiedenen Variationen hinsichtlich der Intensität der in Betracht kommenden Factoren, der Zähigkeit der Fäden und der Grundmasse, der Intensität der Oberflächenspannung, die zur Verfügung stehende Zeit, werden dafür von ausschlaggebender Bedeutung sein. Bei Orchideen, bei manchen Fadensegmenten von Hyacinthus geht die Contraction so weit, dass man eigentlich nicht mehr von Fäden sprechen kann.

Die Fadenstücke, oder auch in manchen Fällen der noch unsegmentirte Faden, beginnen nun sich zur Kernplatte oder Aequatorialplatte anzuordnen. Wir können unmöglich hier auf die Einzelheiten dieses Umlagerungsvorganges, wie sie von den verschiedenen Beobachtern, wie Flemming, Strasburger, Guignard, Heuser u. s. w., für eine Reihe von Objecten auf das eingehendste beschrieben worden sind, hier näher eingehen. Die Variationen sind nach den Einzelfällen sehr grosse, ihr mechanisches Verständniss scheint mir aber grössere Schwierigkeiten nicht darzubieten.

Die Ursache der ganzen Umlagerung dürfte darauf beruhen, dass wie im Knäuelstadium infolge einer concentrischen Schichtung in der Grundsubstanz des Kernes der Kernfaden erst an die Peripherie, dann wieder in das Innere sich bewegte, seine Segmente jetzt infolge des Auftretens einer bipolaren Symmetrie in der letzteren gegen den Aequator zu getrieben werden. Das Auftreten der bipolaren Symmetrie in der Kerngrundmasse ist aber auf die Ausbildung der entsprechenden,

früher eingehend behandelten Symmetrie im Zellplasma zurückzuführen. Diese letztere ist es, die jetzt auch auf die Grundmasse des Kernes übergreift. Zur Begründung dafür muss der lebhafte Substanzaustausch, der um diese Zeit zwischen dem Protoplasma und dem Kern statthat, genügend erscheinen, auch in den Fällen, wo er sich allein auf den Austausch gelöster Substanzen durch Diffusion beschränken sollte.

Die Lagen und Krümmungen, welche die sich umlagernden Fadensegmente während ihrer Wanderung annehmen, besonders die Thatsache, dass sie mit convexer Knickung im Aequator ankommen, beweisen, dass auf sie bei ihrer Bewegung hauptsächlich eine Zugkraft wirkt, nicht ein Schub von hinten. Die auftretenden Knickungen und Krümmungen, so mannigfaltig sie auch im Einzelnen sein mögen, sind in der That keine anderen, als wie sie ein in einem zähen Medium unter dem Einfluss einer Zugkraft sich bewegender biegsamer, unelastischer, zäher Faden bei entsprechenden Lagerungsverhältnissen annehmen würde.

Wenn in manchen Fällen, so bei Salamandra die Scheitel der von den Kernfäden gebildeten Schleifen in der Aequatorialplatte alle nach einem Centrum gerichtet sind, so dürfte das daraus zu erklären sein, dass in diesen Fällen zuerst die Flemming'sche Kranzform sich bildete, weil die Fadensegmente nach dem Aequator transportirt wurden, bevor sie von der Peripherie des im Knäuelstadium befindlichen Kernes wieder in das Innere zurückwandern konnten. Entsteht aus dieser Kranzform dann die Aequatorialplatte, indem die Segmente in das Innere der Kerngrundmasse hinein vordringen, so müssen natürlich die Scheitel der durch die Bewegung entstehenden Schleifen, ebenso wie für gewöhnlich gegen die Aequatorialebene selber, jetzt in ihr sich gegen ein Centrum richten. Die bei Salamandra so entstehende Sternform der Aequatorialplatte ist jedenfalls von rein zufälliger Bedeutung, da von ihr sonst nichts zu sehen ist, wie zahlreiche Abbildungen der verschiedenen Autoren, besonders Strasburger's zeigen. Ich selber konnte mich bei Hyacinthus, Galanthus, Leucojum, Tradascentia, Lilium, Fritillaria davon überzeugen, dass die Anordnung der Kernfäden in der Aequatorialplatte keine Spur einer Sternform erkennen lässt.

Sind die Kernfäden gering an Zahl, so lagern sie sich in der Regel genau in die Aequatorialebene ein, so bei Hyacinthus, in manchen Pollenmutterzellen nach Strasburger[1]), im Ei von Ascaris megalocephala nach van Beneden[2]). In den meisten Fällen ist ihre Anordnung hier eine ziemlich unregelmässige, einzelne Schenkel sind in gerader oder schräger Richtung nach aussen oder nach den Polen der Spindel gerichtet. Der Mangel an Raum dürfte dafür hauptsächlich massgebend

1) Theilungsvorgang der Zellkerne. Bonn 1882.
2) Archives de biologie. Bd. IV. 1883.

sein, vielleicht auch die grössere oder geringere Schnelligkeit, mit der die ganzen Umlagerungsvorgänge in diesen Stadien sich abspielen. Sehr bemerkenswerth ist die Anordnung, welche der unsegmentirte Kernfaden in den Pollenmutterzellen von Tradescantia virginica annimmt und welche auf Taf. III, Fig. 13 dargestellt ist. Sie scheint mit der übereinzustimmen, welche nach Flemming's [1]) Abbildungen die entsprechenden Fäden in den Mutterzellen der Spermatozoen von Salamandra zeigen.

Während so die Kernplatte sich ausbildet, entstehen zu beiden Seiten derselben in der modificirten Grundmasse des alten Kernes die Spindelfasern. Sie sollen nach Strasburger und Guignard aus von den Polen herein gedrungenem Protoplasma abzuleiten sein, während Flemming, Zacharias, Pfitzner sie sich aus der Grundmasse des Kernes bilden lassen. Ich selbst habe mir über diesen Punkt an den von mir studirten Objecten — Pollenmutterzellen von Tradescantia, Endosperm von Fritillaria, Gewebezellen von Hyacinthus, Galanthus, Leucojum, Lilium ein sicheres Urtheil nicht bilden können.

Was das Thatsächliche anbetrifft, so möchte ich zunächst hervorheben, dass die Spindelfasern jedenfalls nicht, wenigstens nicht alle, wie Strasburger u. A. annehmen, von Pol zu Pol gehen. Man kann sich bei Hyacinthus auf das bestimmteste überzeugen, dass das nicht der Fall ist, wenn man Alkoholmaterial mit 10 % Sodalösung behandelt. Die Spindelfasern treten dann sehr deutlich hervor, und man erkennt, dass sie jedenfalls zum grössten Theil die Mitte der Kernfigur nicht durchsetzen, sondern hier endigen. Ein Beweis dafür ist auch die Vertheilung derselben in den beiden Spindelhälften. Man findet die Fasern vielfach zu kleinen Gruppen vereinigt, während sie an anderen Stellen mehr vereinzelt vorkommen. Diese Gruppen entsprechen sich nun in den beiden Spindelhälften durchaus nicht, sondern treffen ganz gewöhnlich an verschiedenen Stellen die Aequatorialebene.

Auch van Beneden fand, dass in den Eiern von Ascaris megalocephala die Spindelfasern die Mitte der Figur nicht durchsetzen. Mit diesem Forscher halte ich darum dafür, dass die Spindelfasern nur einer Spindelhälfte angehören. Sie scheinen mir der Ausdruck von Stoffbewegungen zu sein, welche durch die um diese Zeit im Kern auftretende bipolare Symmetrie hervorgerufen werden. Ob die zu Spindelfasern differenzirte Substanz aus dem Plasma oder aus der Kerngrundmasse stammt, mag dahingestellt bleiben, ebenso ob sie von den Polen zum Aequator oder in umgekehrter Richtung sich bewegt. Jedenfalls ist zu beachten, dass sich die Substanz als solche weder an dem einen, noch an dem anderen Orte in nachweisbarer Form ansammelt, was aber auf einer sofort eintretenden Wiedervermischung mit den übrigen hier angesammelten Substanzen beruhen kann.

1) A. a. O. S. 258. Fig. S.

Dass die Spindelfasern eine Bedeutung für die von den Kernfäden einzuschlagende Bewegungsrichtung haben sollten, wie Strasburger und Andere annehmen wollen, scheint mir wenig wahrscheinlich. Ihre Zahl steht in gar keiner Beziehung zu der der Kernfäden, auch ist den letzteren ihre Bewegungsrichtung durch die in der Grundmasse herrschenden bipolaren Symmetrieverhältnisse zur Genüge aufgenöthigt. Was schliesslich ihre substantielle Beschaffenheit anbetrifft, so zeigten sie mir bei einigen mikrochemischen Reactionen folgendes Verhalten:

Sie verquellen nicht durch die Einwirkung von Soda- und Kochsalzlösung, sondern werden durch dieselbe sogar etwas deutlicher. Bei der Einwirkung von künstlichem Magensaft waren sie nach einigen Stunden ebenfalls etwas deutlicher geworden, nach zweitägiger Verdauung bei gewöhnlicher Zimmertemperatur fand ich sie ebenfalls noch deutlich, dagegen schienen sie mir in mehrere Tage verdautem Material sammt der Grundmasse, in der sie liegen, grösstentheils aufgelöst zu sein, da die betreffenden Spindelhälften jetzt in den Präparaten den Eindruck von Vacuolen machten. Es sind indessen hierüber noch in umfassenderer Weise weitere Untersuchungen anzustellen, da Zacharias[1]) angibt, dass die Spindelfasern bei Helleborus dieselben Reactionen zeigen, wie das Plastinnetz, welches nach ihm hier in der Kerngrundmasse vorhanden ist, wonach sie also auch unverdaulich sein würden. Zacharias nimmt aus diesem Grunde auch an, dass sie aus diesem Plastinnetz der Grundmasse sich bilden sollen.

Die Spindelfasern schwinden später in dem Masse, als die Theilhälften der Kernfäden gegen die Pole zu vorrücken, sie stehen auf keinen Fall in näherer Beziehung zu den eigentlichen Zellfäden, wie Strasburger wollte. Diese letzteren treten erst lange nachher auf und ganz unabhängig vom alten Kern sowohl, wie von den beiden Tochterkernen.

Die Längstheilung der Segmente des Kernfadens, die nach den Resultaten der neueren Untersuchungen ganz allgemein vorzukommen scheint, vollzieht sich in der Regel während die letzteren sich in äquatorialer Lage befinden. Sie kann aber auch früher auftreten, oder auch sich verspäten bis unmittelbar vor dem Wiederzusammentritt der Segmente zu neuen Tochterkernen.

Das erstere ist beobachtet ausnahmsweise bei Salamandra und Hyacinthus von Flemming. An den Originalpräparaten, welche mir von diesem Forscher zur Ansicht gütigst überlassen worden waren, konnte ich mich davon überzeugen. Ferner scheint es auch nach Strasburger's Befunden bei manchen Pollenmutterzellen vorzukommen.

Die letztere Abweichung zeigen die Kerne der Hodenzellen von

1) Botan. Zeitung 1882.

Salamandra nach Flemming, die Pollenmutterzellen von Tradescantia nach Heuser[1]), die von Allium odorum und Ceratozamia nach Juranyi.[2])

In der Regel vollzieht sie sich aber, während die Fadensegmente sich in äquatorialer Lage befinden. Indessen nur in wenigen einfacheren Fällen, wie sie in den Zellen des Grundparenchyms von Hyacinthus und Leucojum gewöhnlich realisirt sind, und in den Eiern von Ascaris megalocephala nach van Beneden (Taf. IV, Fig. 6) liegen sie dabei ganz in der Aequatorialebene und fällt ihre Theilungsebene genau mit der letzteren zusammen. Bei den meisten bisher untersuchten Objecten ist das aber nicht der Fall, die sich der Länge nach theilenden Fadensegmente liegen bei ihnen nicht genau in der Aequatorialebene, sondern mehr oder weniger geneigt dazu, wenigstens in einem Theil ihres Längsverlaufes. Darum kann die Mechanik des Längstheilungsvorganges nicht aus den Beziehungen der Fadensegmente zur Gesammtsymmetrie der Plasmamasse, der sie eingelagert sind, abgeleitet werden, sie muss vielmehr aus den Bauverhältnissen jedes einzelnen Fadens selber ihre Begründung finden, oder aus den Beziehungen jedes einzelnen von ihnen zu den ihn unmittelbar umgebenden Theilen des Plasmakörpers.

Die von einigen Seiten gemachte Annahme, die Fäden seien aus kleinsten, der Länge nach gereihten Elementen zusammengesetzt, welche sich einzeln theilen und deren Hälften sich abstossen sollen, erklärt natürlich nichts, so lange man über die Natur der hierbei zur Wirkung kommenden Kräfte vollkommen im Dunkeln ist. Man könnte sich nun auch in diesen Fällen wieder die Vorstellung entwickeln, es entstünden in jedem einzelnen Faden unter Mitwirkung der umgebenden Plasmamassen bipolare Symmetrieverhältnisse, welche, wie bei einem sich theilenden Chlorophyllkörper, oder bei einer sich einschnürenden Eizelle, zur Halbirung führen könnten. Dass die Halbirung in den vorliegenden Fällen der Länge nach stattfindet, würde dann der besonderen Ausbildung der Symmetrieverhältnisse zuzuschreiben sein, wie ja auch die Cambiumzellen sich trotz ihrer grossen Länge und geringen Dicke der Länge nach theilen.

Es liessen sich ja wohl noch manche andere Möglichkeiten theoretisch für den vorliegenden Fall entwickeln, denen aber nicht minder, wie den vorstehend angedeuteten Auffassungen der sichere, thatsächliche Hintergrund fehlen würde. Es hätte aber bei dem augenblicklichen Stande unserer Kenntnisse in dieser Frage keinen Zweck, noch länger bei der Ausmalung solcher Möglichkeiten zu verweilen. Wich-

1) Botan. Centralblatt. Bd. 17. 1885.
2) Botan. Zeitung 1882. S. 814 ff.

tiger als mechanische Erklärungsversuche von allzu problematischem Werthe ist es vorläufig noch, diese Vorgänge durch ausgedehnte Detailuntersuchungen nach allen ihren Modificationen klar zu legen. Dass sich damit weitere und zuverlässigere Anhaltspunkte, diese merkwürdigen Lebensvorgänge im Protoplasma dem mechanischen Verständniss näher zu bringen, ergeben werden, darf nicht bezweifelt werden.

Sehr bemerkenswerth ist das abweichende Verhalten des Kernes der Pollenmutterzellen von Tradescantia bei der Theilung, auf welches zuerst Heuser kurz hingewiesen hat, dessen Angaben ich nach eigenen Untersuchungen im wesentlichen bestätigen muss. Die sehr dicken Segmente des Kernfadens, die hier nur in geringer und wechselnder Zahl vorhanden und zum Theil sehr lang sind, theils aber nur ganz kurze Stücke darstellen, ordnen sich in der Weise in die Aequatorialebene ein, wie es Fig. 13 auf Taf. III zeigt. Der Beginn der Rückwanderung nach den Polen leitet sich nun damit ein, dass überall, wo die Fäden die Aequatorialebene kreuzen, Einschnürungen auftreten, welche zuletzt die Continuität hier vollständig aufheben. Die zu beiden Seiten der Aequatorialebene gelegenen Theilstücke beginnen nun, sich gegen die Pole zu bewegen und werden auf dieser Wanderung, wie schon Heuser angegeben, noch nachträglich der Länge nach halbirt.

Die Wanderung der Fadenhälften aus dem Aequator nach den Polen versteht sich nun auf Grund der mit dem Fortschreiten der Theilung allmählich sich modificirenden Symmetrieverhältnisse, wie wir es in unserer am Anfang des Kapitels gegebenen Uebersicht dargelegt haben. Indem neue Substanzen der Aequatorebene zuströmen und sich hier anhäufen, werden die Massen, in denen die Fadensegmente ihre Ruhelage finden, zur Seite gedrängt. Es entstehen der bipolaren Symmetrie der betreffenden Plasmamasse entsprechend zwei rechts und links gelegene Zonen, auf welche sich die gebildeten Hälften der Fadensegmente vertheilen. Ob dabei wirklich in allen Fällen die beiden Längshälften der Fadensegmente immer nach entgegengesetzten Seiten wandern, wie es für die einfacher gebauten Kernplatten ja leicht nachweisbar und aus der Lage der beiden Hälften auch leicht zu verstehen ist, lässt sich schwer entscheiden. In complicirteren Fällen, wo die Aequatorialplatte aus zahlreichen Fadensegmenten besteht, lässt sich wohl absolute Sicherheit hierüber nicht gewinnen, es dürfte auch nicht für alle Fälle ohne weiteres als wahrscheinlich anzunehmen sein.

Jedenfalls muss soviel als feststehend angenommen werden, dass eine derartige Vertheilung der Hälften auf die neuen Kerne, wenn sie auch die Regel bilden sollte, für das Wesen des Theilungsvorganges nicht nothwendig ist. Denn Fälle, wie die Hodenzellen von Salamandra, die Pollenmutterzellen von Tradescantia und Ceratozamia zeigen, dass lebens- und functionsfähige — sogar sexuell differenzirte — Zellen

auch ohne das sich bilden können. Vollkommen nebensächlich ist es dabei, dass die Vorgänge bei der Kerntheilung dieser letzten Objecte, wie wohl angenommen werden muss, als abgeleitete zu betrachten sind.

Die Umlagerungen und Gestaltänderungen nun, welche die Fadensegmente beim Auseinandertreten und während ihrer Wanderung nach den Polen zu erleiden und die neuerdings ebenfalls von Heuser, Strasburger und Guignard für eine Anzahl pflanzlicher Objecte besonders eingehend studirt worden sind, scheinen sich mir ebenso zu erklären, wie die entsprechenden Erscheinungen, welche bei der Bildung der Kernplatte sich zeigen.

In den einfachsten Fällen, z. B. bei Hyacinthus und Ascaris megalocephala, biegen sich die beiden auseinanderweichenden Fadenhälften bald concav gegeneinander, indem die Endpartien etwas länger aneinander haften, als die mittleren. Wo aber die Fadensegmente bei grösserer Menge nicht genau der Aequatorialebene eingelagert waren, da nehmen die auseinanderweichenden Hälften Σ- und Uförmige und andere complicirtere Biegungen an, wie die oben erwähnten Forscher das näher dargelegt haben. Die allmähliche Trennung der Fadenhälften von der Mitte nach den Enden zu, sowie das zugleich eintretende Auseinanderweichen nach verschiedenen Seiten dürften alle diese Biegungen u. s. w. zur Genüge erklären, ohne dass sich das natürlich für jeden Einzelfall beweisen lässt. Später bilden sich dann aber immer wieder einfache Schleifen aus, mit gegen die Pole zu gerichtetem Scheitel, wobei aber die Schenkel oft von sehr verschiedener Länge sind.

Sobald die Schleifen, beiderseits an den Polen angelangt, zur Ruhe kommen, fangen sie an sich wieder zu verkürzen, da sie während ihrer Wanderung aus leicht begreiflichen Gründen beträchtliche Streckung erfahren hatten. Bald darauf spreizen die gegen den Aequator zu gerichteten Schenkel oft in auffallender Weise auseinander. Hierauf beruht es, dass Flemming früher glaubte, die Sternform, welche er für die Aequatorialplatte als wesentlich annahm, würde auch von den wiederzusammentretenden Schleifen der Tochterkerne wiederholt. Soweit nach pflanzlichen Objecten ein allgemeiner Schluss erlaubt ist, beruht das auf einer jetzt eintretenden wieder rückläufigen Bewegung der Theilkerne, auf die weiter unten näher einzugehen ist. Bei thierischen Objecten dürften ohne Zweifel aber hauptsächlich die Symmetrieverhältnisse der Schichten, in welche die neuen Tochterkerne sich einzulagern haben, hierfür massgebend sein. Diese Schichten besitzen nämlich, wie wir früher bei Besprechung der Theilungsvorgänge in den Eizellen von Echiniden näher dargelegt haben, die Form von die neuen Zellcentra umgebenden Hohlkugeln, sie wenden also der Aequatorebene ihre Convexität zu.

Die stark verkürzten Schleifen nähern sich jetzt stark, so dass es

oft den Anschein hat, als ob sie sich wirklich vereinigten, was aber nach den Resultaten der neueren Untersuchungen nicht der Fall ist. Bald darauf sieht man sie einer geringen farblosen Grundmasse eingebettet, die durch einen zarten, aber äusserst scharfen Contour von dem umgebenden Plasma abgesetzt ist. Diese Trennungslinie tritt ohne Zweifel ganz plötzlich auf, sie ist als das Resultat eines Entmischungsvorganges aufzufassen, als die Umkehrung dessen, was bei Beginn der Kerntheilung eintrat, als die Kernmembran in Lösung ging und der Kern seine scharfen Contouren gegen das Plasma aufgab. Der so neu individualisirte „Tropfen" nimmt die gesammte Substanz der Kernfäden in sich auf. Diese beginnen bald durch Vermehrung der Grundmasse auseinanderzutreten, sie verlängern und verdünnen sich wieder, nachdem sie vorher nach den Angaben von Strasburger und Guignard an ihren Enden wieder miteinander verschmolzen sind. Ein sicherer Nachweis dafür ist freilich nicht wohl zu erbringen. Bei Tradescantia virginica (Pollenmutterzellen) sah ich wenigstens noch längere Zeit nachher die Tochterkerne in mehrere, durch dickere, hellere Schichten getrennte Partien zerlegt, welche den von den einzelnen Fadensegmenten eingenommenen Territorien entsprachen.

Durch weitere Ausdehnung und Umbildung der Fadensubstanz entsteht wieder der Knäuel resp. das Gerüst des ruhenden Kernes. Der Vorgang scheint hierbei im wesentlichen der umgekehrte zu sein, wie im Mutterkern bei Beginn der Theilung. Aus diesem Grunde möchte ich ihn auch seiner Mechanik nach in entgegengesetzter Weise auffassen, die Verdünnung und Verlängerung der Fadensubstanz, die dabei stattfindende Oberflächenvergrösserung also in derselben Weise wie die Bildung der Pseudopodien begründen.

Bald nach der Abgrenzung der neuen Kerne werden auch durch einen Entmischungsvorgang in ihrer Grundmasse die neuen Nucleolen wieder ausgeschieden.

Wie wir in den einleitenden Ausführungen dieses Kapitels sahen, schiebt sich bei Tradescantia, wenn die auseinanderweichenden Kernplattenhälften beiderseits die Pole fast erreicht haben, das stärkeführende Plasma von der Zellperipherie her in Form eines dicken Ringes gegen die inneren Regionen der Aequatorialebene vor, um hier schliesslich eine die Zelle quer durchsetzende Lamelle zu bilden. Auch bei den Equisetum-Sporen fanden wir, dass die aufeinanderfolgenden Plasmaschichten des Wandbelegs in ganz entsprechender Weise allmählich in die Aequatorialebene einwandern, und wir führten an der betreffenden Stelle schon aus, dass diese Erscheinung vermuthlich eine ganz allgemeine ist. Wie wir ferner an den betreffenden Beispielen zeigten,

wird dann nachträglich innerhalb dieser Plasmaschichten jene glänzende, hyaline Substanz, von der Gestalt einer biconvexen Linse gewöhnlich, ausgeschieden, in welcher die Zellfäden und die Zellplatte sammt der neuen Membran sich bilden.

Wesentlich anders sind von Strasburger[1]) diese Vorgänge dargestellt worden. Nach demselben entsteht der Complex der Verbindungsfäden, welcher bald die Gestalt einer biconvexen Linse annimmt, theils aus den zwischen den auseinanderweichenden Hälften der Kernplatte zurückbleibenden Spindelfasern, theils aus dem zwischen dieselben eingedrungenen Protoplasma, indem es sich ebenfalls fadenförmig differenziren soll. Demgemäss steht nach Strasburger der Zellfadencomplex mit den Tochterkernen in directer Verbindung, er kann sich aber nachträglich von ihnen vollständig trennen.

Wie aus der hier gegebenen Darstellung hervorgeht, kann ich mich dieser Auffassung nicht anschliessen. Allerdings findet man, wie Strasburger angibt, zwischen den auseinanderweichenden Plattenhälften Andeutungen einer Streifung, aber ich vermag darin nicht einen Beweis für die Persistenz der Spindelfasern zu sehen, die nach meinen Resultaten vollständig verschwunden sind, sobald die Hälften der Kernplatte die Pole beinahe erreicht haben. Ich halte diese Streifung vielmehr für nichts anderes, als für die Spuren, welche die polwärts wandernden Fadensegmente eine Zeitlang mit mehr oder weniger Deutlichkeit hinter sich lassen. Sie verschwindet aber lange vor dem Erscheinen der biconvexen Masse, welche nach meinen Erfahrungen an Tradescantia, Equisetum, Galanthus, Hyacinthus, Leucojum, Lilium, Fritillaria etc. mit den Tochterkernen nie in directer Verbindung steht. Bei Tradescantia subaspera zeigte sie sich z. B. in den Epidermiszellen, bei der Verfolgung des lebenden Objectes erst längere Zeit nachdem die Kernplatte die Aequatorialebene verlassen hatte. (Vergl. auch Taf. IV, Fig. 7a.)

Oft treten sie freilich sehr nahe an die Tochterkerne hinan, so im Embryosack von Anthericum graminifolium, wo der Complex eine auffallend langgestreckte Gestalt besitzt. Indessen ist auch hier bei genauer Untersuchung die schmale Trennungszone beiderseits nachweisbar, und ganz sicheren Aufschluss geben die früheren Entwicklungsstadien, auf denen auch hier wie immer zwischen den auseinanderweichenden Kernplattenhälften nur Spuren einer fadenförmigen Differenzirung zu erkennen ist.

Bei Hyacinthus werden die Zellfäden, sammt der Masse, welcher sie eingelagert sind, durch 10 % Sodalösung nicht verändert, nach längerer Einwirkung von Pepsin-Glycerin fand ich sie nicht mehr kenntlich, während die Grundmasse anscheinend unverändert geblieben war.

---

1) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. Jena 1880.

Ich möchte in den Zellfäden eine Substanz erblicken, welche von dem Protoplasma zu beiden Seiten der biconvexen Masse ausgeschieden wird und von hier in Form von feinen Strängen gegen die Aequatorialebene vordringt, um sich hier allmählich anzusammeln. Darauf deutet ihr Dickerwerden gegen diese Ebene zu, worauf schon Strasburger hingewiesen hat, sowie die kugelförmige Anschwellung, die sich hier an jedem von ihnen bildet. Diese Anschwellungen verschmelzen schliesslich seitlich mit einander zu einer dünnen Platte glänzender Substanz, in welcher nach einiger Zeit die dünne Celluloselamelle nachweisbar wird. Ob diese letztere durch directe Umwandlung aus der Substanz der Zellplatte entsteht, oder aus weiterhin gelöst zuwandernder Substanz, lässt sich unter dem Mikroskop nicht entscheiden. Bei den Pollenmutterzellen von Tradescantia virginica konnte ich jedenfalls zu beiden Seiten der jungen Membran noch eine Schicht nachweisen, welche den beiden Hälften der durch die Celluloselamelle gespaltenen Zellplatte entsprach.

An mit Essigsäure conservirtem Material dieser Zellen, welches sorgfältig mit Wasser ausgewaschen war, färbten sich die Zellfäden und die Zellplatte mit verdünntem wässrigen Methylgrün tief dunkel, während das Plasma und die Membran Farbstoff gar nicht aufspeicherten. Erst nachdem die Zellplatte quer durch die ganze Zelle gebildet war, trat in ihr sehr rasch die junge Membran auf, leicht erkennbar in Form einer feinen, keinen Farbstoff aufnehmenden Lamelle. Sie ist anfangs in Essigsäure nicht quellbar, erst weit später, nachdem sie beträchtlichere Dicke erreicht hatte, war sie in den Präparaten ziemlich aufgequollen.

Weder an diesem, noch an irgend einem anderen der näher daraufhin untersuchten Objecte habe ich aber Anhaltspunkte dafür finden können, dass die junge Membran durch Zusammentritt von „Mikrosomen" entsteht, wie Strasburger[1]), Schmitz[2]) u. A. wollen. Ich habe mehrere Objecte mit den besten Oelimmersionen im conservirten Zustande und lebend während der Ausbildung der Membran eingehend studirt, ohne etwas von zusammentretenden „Mikrosomen" erkennen zu können, so durchschnittene Schläuche von Vaucheria und Bryopsis während der Regeneration der Membran, ferner in Theilung begriffene Cladophora, hauptsächlich aber auch sich theilende Spirogyren, bei denen nach Strasburger die Mikrosomen besonders deutlich sein sollen.

Bei einer Spirogyra mit einfacher Querwand und einem Chlorophyllband, ähnlich der Sp. quinina, fand ich allerdings das Verhalten so, wie es Strasburger geschildert hat. Zu beiden Seiten der jungen

1) Bau und Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882.

2) Sitzungsber. der Ges. f. Natur- und Heilk. zu Bonn. 6. Dec. 1880.

Membranlamelle sammeln sich zwei Ringe dunkler Körnchen. Die neue Membran, die nach Contraction des Plasmakörpers mir an ihrem Innenrande immer glatt erschien, steht aber zu diesen Körnchen in gar keiner näheren Beziehung. Die letzteren waren überhaupt, bei der von mir untersuchten Form, gar nicht organischer Natur, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach kleine Gypskryställchen, da sie sich gegen concentrirte Salzsäure und concentrirte Schwefelsäure als absolut unempfindlich erwiesen. Sie finden sich auch in den Zellen vor der Theilung zerstreut im Wandbeleg und auch im Zellsaft vor. Auch bei Spirogyra nitida fand ich dieselben Verhältnisse vor, bei anderen nicht näher bestimmten Spirogyraarten fehlten aber die Kryställchen, es fehlten dann aber auch die „Mikrosomen"-Ringe zu beiden Seiten der neu anzulegenden Membranen.

Bekanntlich hat schon de Bary[1]) vor längerer Zeit auf das Vorkommen von Gypskryställchen in den Endvacuolen von Desmidium hingewiesen, und diese Angaben sind von Fischer[2]) neuerdings bestätigt und erweitert worden. Nach dem Obigen kommen solche Kryställchen, entgegen Fischer's Angaben, auch bei Spirogyren vor.

Es mag nun bei dieser Gelegenheit auch gleich erwähnt werden, dass ich mich auch bei der Ausbildung der verschiedenartigen Leisten und Wandverdickungen im Innern der Zellhöhlungen von dem Vorhandensein von „Mikrosomen", durch deren Zusammentritt die letzteren entstehen sollen, nicht habe überzeugen können.

So habe ich vergeblich in den später luftführenden Zellen der Sphagnumblätter danach gesucht, obwohl dieselben ein ganz ausgezeichnetes Object darbieten, das leicht ohne Alteration stundenlang lebend untersucht werden kann. Auch in den ihre Zeichnung ausbildenden Gefässen habe ich nichts von der Wand sich wie Bausteine auflagernden Mikrosomen gefunden. Selbstverständlich ist es ja, dass auf dem abgehobenen Wandbeleg die in Entwicklung begriffene Zeichnung der Membran sichtbar sein muss, indem den Erhöhungen auf der letzteren Vertiefungen in ihm entsprechen und umgekehrt.

Dass bei der Zelltheilung die neue Membransubstanz die Form einer dünnen Lamelle annimmt, muss auf besondere, specielle Anpassung und auf die zu diesem Zweck sich ausbildenden Symmetrieverhältnisse zurückgeführt werden. Vielfach finden wir ja, dass die trennende Schicht als ziemlich unförmliche, dicke Cellulosemasse auftritt, so bei Bryopsis, Codium, in vielen Pollenmutterzellen. Auch in solchen Fällen, wo normal dünne Leisten auftreten, kann eine geringe Störung Veranlassung geben, dass die Membransubstanz in mehr unförmlichen, dicken Massen

1) Conjugaten. S. 43.

2) Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 14. 1884.

abgelagert wird. So leicht bei Cladophoren, wenn man sie in Cultur nimmt, in dem oben näher beschriebenen Falle von Equisetum arvense.

Für das Dünnbleiben der zuerst auftretenden Membranpartien und die Anlagerung der weiterhin zur Ausscheidung kommenden Membransubstanz am Rande der gebildeten Lamelle, also für das allmähliche Fortwandern der Zone, in welcher Abscheidung von Cellulose statthat, von dem Innern der Zelle gegen den Wandbeleg zu, in den gewöhnlichen Fällen, sind offenbar rückläufige Veränderungen in der Gesammtsymmetrie der Zellen massgebend. Dieselben finden auch in entsprechenden Bewegungen der neuentstandenen Tochterkerne ihren Ausdruck. Schon oben wurde darauf hingewiesen, dass die Schleifen der Kernfadensegmente, nachdem sie an den Polen zusammengetreten sind, zu spreizen beginnen und mehr oder weniger Sternform annehmen. Das beruht darauf, dass sie zu dieser Zeit sich wieder in entgegengesetzter Richtung der Aequatorialebene zu nähern beginnen. Das geht schon aus vielen Abbildungen Strasburger's hinreichend hervor, die neuen Tochterkerne legen sich bald der jungen Membran an (Taf. IV, Fig. 7 b). Darin liegt aber schon ausgesprochen, dass die Plasmamassen, in denen die Theilung sich vollzieht, ebenfalls wieder rückläufige Bewegung einschlagen, sich gegen die alte Membran, die Zellperipherie zu zurückziehen. Das thut dementsprechend auch die Zone, in welcher Celluloseausscheidung stattfindet.

In anderen Fällen, wo in den neugebildeten Zellen der Kern dauernd im Centrum suspendirt bleibt, z. B. in Embryosäcken, wie weiter unten näher zu beschreiben, treten zwischen den Tochterkernen und der jungen Membranlamelle Vacuolen auf, die denselben Effect bedingen. So sehr schön bei der Theilung der Endospermzellen von Anthericum graminifolium, wie die Abbildung auf Taf. IV, Fig. 9 zeigt.

So fand ich auch in den sich theilenden Zellen von Spirogyra, dass der verdickte Wandbeleg hinter dem nach innen zu fortwachsenden Rande der Membranleiste sich vacuolisirt, in ganz entsprechender Weise, und Aehnliches ist auch, wie schon früher ausgeführt, bei Cladophora der Fall.

Damit stimmt es denn auch überein, dass bei Spirogyra in der centralen Plasmamasse, in welcher die Theilung des Kernes sich vollzieht, in der aber bekanntlich Membransubstanz nicht ausgeschieden wird, bald nach dem Auseinanderweichen der Kernplattenhälften, wie Strasburger näher beschrieben hat, mehrere grössere Vacuolen auftreten. Sie bläht sich dadurch auf, zertheilt sich zu Fäden, und diese letzteren legen sich schliesslich an den inneren Rand des Cellulose ausscheidenden Ringes an.

Jene Fälle, wo die neue Membran in Form plumper, dicker Massen auftritt, wie bei Bryopsis und Codium, sind offenbar auf weniger zweck-

mässige Anpassung zurückzuführen. Ein Stoffaustausch durch die Trennungsstücke ist hier ohne Zweifel unmöglich. Es dürfte freilich diesen so wenig differenzirten Formen auch wenig darauf ankommen.

Unter entsprechenden Verhältnissen sehen wir nicht selten auch bei höheren Pflanzen ähnliche unförmliche Trennungswände gebildet werden. So bekanntlich die von aussen nach innen sich ausbildenden Leisten bei der Viertheilung vieler Pollenmutterzellen. Da diese Leisten sammt der ganzen Membran der Mutterzelle hier bald wieder in Lösung übergeführt werden, so erklären sich diese unzweckmässigen Formen ohne Schwierigkeiten. Sie sind unschädlich, konnten sich darum auf dem Wege der regressiven Metamorphose ungestört entwickeln.

Wir haben bisher nur einen, allerdings den verbreitetsten Modus der Zell- und Kerntheilung besprochen. Wie zahlreiche Beispiele lehren, sind beide vielfach nicht so eng ineinander greifende Vorgänge. Die Bildung der neuen Membran kann zeitlich und örtlich unabhängig von der Kerntheilung erfolgen, so in vielkernigen Zellen, in Embryosäcken, Pollen- und Sporenmutterzellen u. s. w. Während in der einen Gruppe solcher Fälle die Ausbildung der neuen Membran zur Kerntheilung eine Beziehung gar nicht erkennen lässt, mag es sich dabei um Zwei- oder Mehrtheilung der Zellen handeln (Cladophora, Embryosäcke), findet in anderen Fällen zwar ziemliche Gleichzeitigkeit statt, aber die Membransubstanz scheidet sich nicht in der Masse aus, in der der Zellkern seine Theilung vollendet, sondern sie wird von der alten Membran aus in der Zellperipherie in Form einer vordringenden Leiste angelegt (Spirogyren).

Beides kann nach unseren vorhergehenden Ausführungen nicht auffallen. Wir sahen, dass die Zellplatte und die Zellfäden sammt der neuen Membranlamelle in keiner unmittelbaren Beziehung zu den sich theilenden Kernen stehen, wie das Strasburger annahm. Sie lagern sich nur deshalb zwischen die neuen Theilkerne ein, weil die bipolare Symmetrie der betreffenden Plasmamassen es so verlangt. Diese Symmetrieverhältnisse können sich aber sehr wohl auch herstellen, ohne dass die Bedingungen zur Ausscheidung von Cellulose gegeben sind. Allerdings glaube ich annehmen zu dürfen, dass das Auseinanderweichen der Tochterkernanlagen immer dem Eindringen entsprechender anderer Schichten des Plasmakörpers in die Aequatorialebene zuzuschreiben ist, auch da, wo wie in Embryosäcken, in vielkernigen Zellen bei der Kerntheilung Membranbildung gar nicht stattfindet. Es sprechen dafür die in Embryosäcken bei der Kerntheilung so oft auftretenden rudimentären und transitorischen Zellplatten, die Strasburger für viele Fälle beschrieben hat. Es ist auch kein Beweis gegen diese Annahme, dass

z. B. bei Spirogyra zwischen die auseinanderweichenden Kernhälften Chlorophyll gar nicht eindringt, da die grossen Chlorophyllbänder hier wandständig bleiben. So sahen wir auch bei Hyacinthus nur eine geringe Anzahl kleinerer Stärkekörnchen zwischen die Tochterkerne einwandern, während die grosse Mehrzahl ihren früheren Ort in der Zelle nicht veränderte.

Im Uebrigen können aber in diesen Fällen, wo Kerntheilung und die Ausbildung der neuen Membran zeitlich und örtlich mehr auseinanderfallen, wieder jene beiden Modificationen hinsichtlich der Membranausbildung auftreten, die wir schon früher kennen gelernt haben. Die neue Membran kann also von der Peripherie aus in Form einer Zellstoffleiste in den Zellraum hinein vordringen, wie bei Cladophora, vielen Pollen- und Sporenmutterzellen, oder sie kann auch anfänglich frei im Plasma suspendirt auftreten, wie in den Embryosäcken bei der ersten Zellbildung, in den Sporenmutterzellen von Anthoceros und Isoëtes.

Alle diese Modificationen sind nicht geeignet, uns besondere neue Gesichtspunkte für die richtige Auffassung der Mechanik des Zelltheilungsvorganges zu eröffnen. Von grösster Bedeutung ist dagegen die Thatsache der simultanen Mehr- bis Vieltheilung eines Zellraumes, welche mit den oben besprochenen Variationen so oft verknüpft ist. Die hierbei auftretenden Variationen gestatten uns erst bei dem Specialfall der Zweitheilung schärfer die mehr nebensächlichen Punkte von den wesentlichen zu trennen. Am wichtigsten sind in dieser Beziehung jedenfalls die merkwürdigen Zellbildungsvorgänge in den Embryosäcken der meisten Angiospermen, deren Aufklärung wir hauptsächlich Strasburger's Untersuchungen verdanken.

In den Embryosäcken der Angiospermen finden wir in der Regel zu der Zeit, wo dieselben ihre definitive Grösse ziemlich erreicht haben und nun unmittelbar vor der Erfüllung mit Zellgewebe stehen, einen monocentrischen plasmatischen Wandbeleg, der einen Saftraum von enormer Grösse umschliesst. Zahlreiche durch fortgesetzte Zweitheilung aus dem ursprünglichen secundären Embryosackkern entstandene Zellkerne sind in ihm ziemlich gleichmässig vertheilt. Sie bekunden dadurch das Vorhandensein von wohl durch sie selbst hauptsächlich bedingten, secundären Symmetrieverhältnissen, durch welche der Wandbeleg in ebensoviele, polygonal sich von einander abgrenzende Territorien zerfällt als Kerne vorhanden sind.

Mit dem Beginn der Vorbereitungen zur Zellbildung wird nun diese bisherige untergeordnete Symmetrie zur dominirenden, die dominirende monocentrische des Wandbelegs tritt zurück. Gleichzeitig grenzen sich die neuen Centren durch Membranlamellen von einander ab. So wird das ganze System zu einem polycentrischen, und zwar in der Mehrzahl

der Fälle in der Weise, dass zunächst sich eine einfache peripherische Schicht voneinander abgeschlossener Systeme (Zellen) ausbildet, um einen restirenden centralen Raum, der ebenfalls für sich ein gesondertes, aber anders organisirtes System darstellt. Die je einem Kern zugefallene Plasmamasse des Wandbelegs bildet sich zu einer Zelle mit dominirender normaler Schichtung aus. In der Regel ist daneben aber, während dieser Entwicklungsvorgänge, eine untergeordnete polycentrische Symmetrie vorhanden, die Plasmamassen der einzelnen Territorien besitzen einen gerüstförmigen Bau und einen im Centrum suspendirten Kern. In den Berührungsebenen der einzelnen Systeme kommt es zuletzt in unten näher zu besprechender Weise zur Ausbildung von Cellulosewänden. Da, wie es scheint, obwohl die neu entstehenden Zellen von Anfang an einen Saftraum besitzen, der Kern doch immer im Centrum suspendirt ist, so entstehen die neuen Membranlamellen etwa in der Mitte von je zweien von ihnen und annähernd senkrecht zu ihrer Verbindungslinie, die Zellen grenzen sich so von Anfang an polygonal gegeneinander ab. Alle Membranlamellen setzen sich an die Aussenwand des Embryosacks an, wie die Theilwände bei jeder Zweitheilung. Es wird ferner jedes Zellterritorium gegen den grossen Saftraum des Embryosacks ebenfalls durch eine Membranlamelle abgeschlossen. Diese letztere Lamelle ist auf ihrer Innenseite ebenfalls von einem plasmatischen Wandbeleg überzogen, dem aber die Zellkerne fehlen. Wir könnten darum den ganzen Binnenraum als eine mächtige, aber kernlose und entwicklungsunfähige Zelle neben der einfachen Schicht der peripherisch gelagerten auffassen.

Die mit dem Symmetriewechsel im Wandbeleg sich abspielenden Vorgänge stimmen nun in ihrem Verlauf, wie es nach den vorliegenden Untersuchungen scheint, nicht in allen Einzelfällen genau überein, doch sind die vorkommenden Abweichungen nur nebensächlicher Natur.

Ich untersuchte selber einige Monocotylen, Anthericum graminifolium, Lilium Martagon, Funkia Sieboldiana, Iris lutescens. Andere Objecte sind in grösserer Zahl von Strasburger und neuerdings von Hegelmaier[1]) studirt worden. Bei Anthericum beginnen die Vorbereitungen zur Zellbildung mit dem Auftreten von mehr oder weniger grossen und zahlreichen Vacuolen im Wandbeleg des Embryosacks. Später treten die Kerne, welche zunächst noch der Aussenwand anliegen, von dieser zurück und wenden sich dem Saftraum zu, gegen welchen sich die Plasmamasse mit ziemlich ebener Fläche abgrenzt (Taf. III, Fig. 16). Bald darauf schien mir in dieser ganzen Grenzschicht eine zarte Cellulosemembran gebildet zu sein, während die einzelnen Territorien der Kerne zunächst noch nicht voneinander getrennt

1) Nova Acta. Bd. 49. Heft 1. 1885.

sind. Gegen den Saftraum zu ist die neue Membran von einem dünnen Plasmabeleg überzogen, im Saftraum selber finden sich eiweissartige Coagula.

Das Plasma häuft sich zunächst vorwiegend in der nächsten Umgebung der Kerne an, die Vacuolen sind am grössten, die Plasmaplatten am dünnsten in den mitten zwischen je zweien gelegenen Regionen. Bald aber findet man die grossen Vacuolen verschwunden, von zahlreichen Plasmafäden durchsetzt, welche in der Mitte zwischen den Kernen sich verdicken und hier seitlich miteinander zu einer Platte verschmelzen, in welcher nachher die zarten Membranlamellen auftreten, durch die die polygonalen Territorien voneinander abgegrenzt werden.

Die vorstehend besprochenen Vorgänge, welche die monocentrische Symmetrie des Embryosackwandbelegs in die polycentrische überführen, sind durchaus zu vergleichen den Umlagerungsvorgängen, welche im Plasmakörper einer gewöhnlichen Gewebezelle stattfinden, wenn diese sich zur Theilung anschickt.

Bei Lilium Martagon treten in der Umgebung der grossen Kerne des Wandbelegs zuweilen einzelne Vacuolen schon auf in dem Stadium, wo der Embryosack seine definitive Grösse noch lange nicht erreicht hat und die monocentrische Symmetrie noch lange Zeit hindurch die dominirende bleibt. Später treten aber im Wandbeleg Vacuolen auf, die von Kern zu Kern reichen. Die letzteren, bisher in tangentialer Richtung ausgebreitet, strecken sich infolge dessen radial und treten zuletzt, wie bei Anthericum, von der Wand zurück. Damit sind die zur Abgrenzung von einzelnen Zellterritorien führenden Vorgänge eingeleitet. Ob auch hier zuerst gegen den Saftraum zu eine continuirliche Membran entsteht, habe ich nicht näher untersuchen können. Dies schien mir aber wieder der Fall zu sein im Embryosack von Funkia Sieboldiana, bei der im übrigen Alles entsprechend dem für Anthericum Beschriebenen verläuft.

Es lässt sich nun nach den in der Literatur vorliegenden Angaben nicht sicher entscheiden, ob die Herstellung eines schaumigen Baues im Wandbeleg immer der Abgrenzung der einzelnen Zellen vorausgeht. Strasburger macht über diesen Punkt keine bestimmten Angaben, nach der von ihm auf Taf. I, Fig. 7 und 8 gegebenen Abbildung scheint es z. B. auch bei Myosurus der Fall zu sein.

Als nothwendig kann das im voraus auch nicht betrachtet werden, denn einmal könnte ja die polycentrische Symmetrie im Wandbeleg sich herstellen, ohne von dem Auftreten von Vacuolen in ihm begleitet zu sein, zweitens wäre aber auch ein dem von Cladophora, Spirogyra u. s. w. entsprechendes Verhalten möglich, also Bildung frei in den Zellraum vorspringender, polygonal zusammenhängender Plasmalamellen mit Ausscheidung von Cellulose in ihnen. Ob solche Modifi-

cationen wirklich in Embryosäcken vorkommen, hätten weitere Untersuchungen zu entscheiden, als wahrscheinlich erscheint es nach dem bisher Bekanntgewordenen nicht.

Nach Strasburger's Angaben scheint, abweichend von meinen Befunden, bei Myosurus und anderen Formen die gegen den inneren Vacuolenraum gelagerte Membranlamelle erst viel später als die polygonal verbundenen radialen Trennungslamellen der einzelnen Territorien aufzutreten. Auch das wäre nur ein untergeordneter Differenzpunkt, bedeutungslos für die Mechanik des Vorganges, ebenso wie die Thatsache, dass bei Corydalis cava, Pulmonaria, Staphylea, Galanthus zunächst mehrere Kerne in die einzelnen Zellterritorien aufgenommen werden können. Dasselbe habe ich auch bei Anthericum gelegentlich gefunden, bei welchem Object ich auch die von Strasburger beschriebene, unter solchen Umständen oft eintretende Verschmelzung mehrerer Kerne beobachtete.

Wenn die Membranbildung um die einzelnen Territorien erfolgen soll, entstehen zwischen den die Kerne in sich bergenden Plasmamassen zahlreiche Fäden, die von Strasburger als Verbindungsfäden bezeichnet worden sind. Wohl mit Unrecht, denn bei den von mir untersuchten Objecten waren es die Safträume durchsetzende Plasmafäden, die also mit dem, was Strasburger sonst als Verbindungsfäden bezeichnet, nichts zu thun haben. In den aus ihnen in den Aequatorialebenen gebildeten Plasmaplatten entstehen dann die Zellfäden in der oben für die Fälle normaler Zweitheilung beschriebenen Weise.

Bei den meisten Objecten scheint im allgemeinen zunächst nur eine Zellschicht an der Oberfläche des Embryosackes zu entstehen. Doch fand ich bei Anthericum in den Ecken auch oft sofort zwei Schichten nebeneinander gebildet.

Nach Hegelmaier schreitet bei anderen Formen die Gewebebildung einseitig vom Micropylen-Ende aus vor, so bei vielen Papilionaceen und Polygoneen, während der Embryosack von Eranthis nach ihm von Anfang an von einem polycentrischen Plasmakörper mit annähernd gleichmässig vertheilten Kernen ganz gefüllt ist. Demzufolge entsteht bei dieser Pflanze mit dem Beginn der Zellbildung auch sofort ein den ganzen Embryosack ausfüllendes polyedrisches Gewebe.

Strasburger ordnet die vorstehend beschriebenen Zellbildungsvorgänge dem Begriffe der freien Zellbildung unter, aber gewiss mit Unrecht. Wie im letzten Kapitel erst näher gezeigt werden kann, ist die freie Zellbildung durch wesentlich andere Merkmale charakterisirt. Es handelt sich hier vielmehr um Vorgänge, welche der gewöhnlichen Zweitheilung der Zellen durchaus entsprechen.

Die Membranen der neuen Zellen setzen sich auch hier an die vorhandene Mutterzellmembran an, sie bleiben mit ihr im Gewebever-

bande. Bemerkenswerth ist nur die grosse Zahl der simultan entstehenden Fächer und die Thatsache (mit Ausnahme von Eranthis), dass bei dieser simultanen Zerklüftung des Zellraumes eine grosse centrale Partie ganz ausgeschlossen bleibt. Das erklärt sich aber aus der enormen Grösse der zu theilenden Zelle, welche mit wenigen Ausnahmen eine simultane Erfüllung des ganzen Raumes mit Zellgewebe unmöglich macht, schon der relativen Geringfügigkeit der Plasmamassen wegen.

Wir haben schon oben erwähnt, dass wir den inneren Raum auch als Zelle auffassen können, wenn auch als nicht weiter entwicklungsfähige. Wenn, wie ich bei Anthericum graminifolium und Funkia Sieboldiana gefunden zu haben glaube, zuerst in der That im Wandbeleg eine den ganzen Innenraum abtrennende Membranlamelle auftritt, die zunächst mit der alten Embryosackmembran nicht in directer Verbindung steht, so würden wir allerdings in diesem Vorgang einen Fall von freier Zellbildung zu erkennen haben, wie sich aus den Ausführungen im letzten Kapitel ergeben wird. Der zwischen der so frei gebildeten sterilen Innenzelle und der alten Embryosackmembran gelegene hohlkugelige Raum zerfällt dann aber durch gewöhnliche simultane Vieltheilung in einzelne Zellen.

Was nun schliesslich die in Pollen- und Sporenmutterzellen so häufig vorkommenden Fälle von simultaner Viertheilung anbetrifft, so liegen auch dabei die Verhältnisse im wesentlichen wieder gleich.

Sehr durchsichtig sind die betreffenden Theilungsvorgänge in den Sporenmutterzellen von Anthoceros und Isoëtes, über welche Objecte wir Strasburger[1]) eingehende neuere Angaben verdanken. Ich konnte selber nur Anthoceros untersuchen und an diesem Object Strasburger's Angaben im wesentlichen durchaus bestätigen. Es entstehen in den Mutterzellen durch succedane Zweitheilung zunächst vier Kerne, welche im Innern des relativ grossen Zelllumens im gerüstförmigen Plasmakörper suspendirt, sich nach den Ecken eines Tetraeders anordnen. Sie bilden die Centra der neuen Zellen, welche sich bald durch Membranlamellen gegeneinander abgrenzen. Wie in den Embryosäcken, sind diese Centra zunächst durch zahlreiche Plasmafäden miteinander verbunden, die in ihrer Mitte anschwellen, sich zu einer Platte vereinigen, in der die Cellulosemembran auftritt.

Von Interesse sind aber die im Zellinhalt stattfindenden vorbereitenden Umlagerungserscheinungen, die von Strasburger eingehend beschrieben und von mir bei Anthoceros ebenfalls näher verfolgt wurden.

Die jungen isolirten Sporenmutterzellen besitzen einen polycentrisch gerüstförmigen Plasmakörper. Der Zellkern liegt central, umgeben auf fast allen Seiten von dem grossen, napfförmigen, ziemlich dünnen Chlo-

1) Zellbildung und Protoplasma. Taf. VI. Fig. 93—100. Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. S. 158. Taf. X.

rophyllkörper. Gleichzeitig mit der wiederholten Zweitheilung des letzteren nimmt die Spannung an seiner Oberfläche wesentlich zu, es tritt Abrundung ein und die vier Theilstücke zeigen das Bestreben, aus dem Innern der Zelle näher an die Peripherie heranzutreten. Wie Strasburger zeigte, bleibt der Kern, während in dieser Weise der Chlorophyllkörper sich zerlegt, zunächst in Ruhe, erst nachträglich beginnt auch er sich zu theilen.

Diese Zellen sind also ein bemerkenswerthes Beispiel dafür, wie weit die einzelnen Theile des Plasmakörpers einer Zelle bei diesen Vorgängen unabhängig voneinander werden können.

Bei der simultanen Viertheilung der Pollenmutterzellen scheinen bemerkenswerthe Besonderheiten nicht aufzutreten. Die neuen Zellplatten bilden sich hier entweder wie gewöhnlich bei den höheren Pflanzen und auch in den Sporenmutterzellen von Anthoceros und Isoëtes zuerst frei im Zellraum, um erst nachträglich an die alte Membran sich anzusetzen, oder aber sie dringen von dieser aus, Cladophora und Spirogyra entsprechend, gegen das Zellinnere vor, wie oben schon erwähnt, in Form dicker, plumper Leisten.

Simultane Viertheilung ist ferner noch sehr gewöhnlich in den Sporenmutterzellen der Algen. Ich habe hier etwas näher die Bildung der Tetrasporen von Chylocladia kaliformis, einer Floridee, verfolgt.

Die jungen Mutterzellen von vollkommen kugliger Gestalt besitzen einen gerüstförmigen Plasmakörper mit centralem Zellkern. Die Farbstoffplatten sind durch das ganze Zellinnere vertheilt. Durch wiederholte Zweitheilung entstehen vier Tochterkerne, dieselben nähern sich der Zelloberfläche und ordnen sich nach den Ecken eines Tetraeders an. Die Zerfällung des Zellraumes erfolgt durch sechs dementsprechend orientirte Membranleisten, welche, wie bei Spirogyra, allmählich von der Zellperipherie nach innen vordringen. Ihre Ausbildung scheint sehr langsam vor sich zu gehen. Lange nach ihrem ersten Sichtbarwerden, wenn die anfangs wenig inhaltreichen Zellen sich schon vollständig mit Plasma und Reservematerial gefüllt haben, hängen die vier Theilzellen in der Mitte noch zusammen. Die trennenden Membranlamellen entstehen in Plasmaleisten, welche die entsprechenden Schichtungsverhältnisse aufweisen. Beiderseits sind darum der neuen Membran gleich auch Farbstoffkörper aufgelagert. Eine Zellplatte und fädige Differenzirungen in ihr konnte ich am fortwachsenden Rande der Lamellen nicht auffinden. Diese fehlen ja auch bei Spirogyra, Cladophora und ganz allgemein bei der Ausbildung der verschiedenartigen nach innen gerichteten Wandvorsprünge innerhalb der Zellen, die wir in einem der folgenden Kapitel näher zu besprechen haben.

Einen eigenthümlichen Fall simultaner Mehrtheilung von Zellen finden wir auch noch bei dem zu den Conjugaten gehörigen Cratero-

spermum laetevirens, welches durch de Bary's [1]) Untersuchungen näher bekannt geworden ist. Die cylindrische Keimpflanze zerfällt durch vier simultan in gleichen Abständen auftretende Celluloseleisten in fünf Zellen. Vor der Theilung besitzt sie vier hintereinander liegende Chlorophyllplatten und vier Kerne, seitlich auf der Mitte einer jeden. Die vier Membranlamellen bilden sich da, wo ein Kern liegt, von der Peripherie nach innen fortschreitend, wie bei Spirogyra. Gleichzeitig theilen sich die Kerne und jede Chlorophyllplatte zerfällt ebenfalls in zwei Hälften, so dass nach vollendeter Theilung die beiden Endzellen je eine Chlorophyllplatte und einen Kern, die drei mittleren aber je zwei Chlorophyllplatten und zwei Kerne besitzen. Die weiteren Theilungen erfolgen nun in ganz entsprechender Weise immer so, dass jede Zelle in zwei oder drei Tochterzellen zerfällt, je nachdem sie ein- oder zweikernig ist.

Die Erklärung dieser Theilungsvorgänge haben wir in den besonderen Symmetrieverhältnissen der betreffenden mehrkernigen Zellen zu suchen, die Mechanik der Wandbildung ist dieselbe wie bei Cladophora oder Spirogyra u. s. w.

Die Symmetrieverhältnisse der Zellen hängen hier wesentlich von der äusseren Gestalt ab, die Theilzellen liegen darum hintereinander, nicht tetraedrisch, wie in den meist kugligen Pollen- und Sporenmutterzellen.

1) Conjugaten. S. 16 f. Taf. III.

SIEBENTES KAPITEL.

Theilungsrichtungen und Theilungsfolge. Definitive Ausgestaltung des Zellnetzes.

Das pflanzliche Zellgewebe besitzt im allgemeinen einen eigenthümlichen Charakter, demzufolge es gewöhnlich ohne weiteres möglich ist zu entscheiden, ob eine vorliegende Zeichnung desselben naturgetreu ist oder nicht, ob das gezeichnete Zellnetz überhaupt möglich ist. Besonders im wesentlich gleichartigen, nicht mehr in Theilung begriffenen Parenchymgewebe tritt dieser eigenartige Charakter zu Tage. Eine eingehendere Untersuchung ergibt nun, dass für die Anordnung und Richtung der Zellwände dieselben Principien massgebend sein müssen, welche den Bau flüssiger Schaumgewebe bedingen.

Die hier vorhandenen Beziehungen haben sich schon früheren Beobachtern ganz unwillkürlich aufgedrängt. So hat z. B. in den fünfziger Jahren Melsens[1]) auf „künstliche Zellgewebe" aufmerksam gemacht, welche er beim Durchleiten von Luft durch Eiweisslösungen erhielt. So erwähnt auch Hanstein[2]) in seiner Arbeit über die schleimabsondernden Organe eines sehr resistenten „Scheinzellgewebes", welches entsteht, wenn man dem Gummiharz der Knospen von Cunonia capensis Wasser zusetzt.

Freilich ist die Bedeutung dieser Analogien für die Ableitung eines mechanischen Verständnisses der organischen Zellgewebe weder von diesen Forschern noch auch von Späteren eingehender verwerthet worden.

Die Gesetze, welche die Anordnung und Gestalt der flüssigen Lamellen im Seifenschaum u. s. w. beherrschen, sind hauptsächlich von Plateau und seinen Schülern eingehend studirt und aufgedeckt worden. Das fundamentale Princip, aus dem sich alle Einzelfälle ableiten lassen, ist das Princip der kleinsten Flächen. Die Lamellensysteme

1) Ann. de chimie et physique (3) XXXIII. p. 170. Jahresb. über d. Fortschr. der Chemie. 1851. S. 576 und Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. XXIV. Nr. 2. Jahresb. 1857. S. 531.

2) Botan. Zeitung 1868. S. 706.

ordnen sich so an, die einzelnen Lamellen krümmen sich in der Weise, dass die Summe der Oberflächen aller unter den gegebenen Verhältnissen ein Minimum wird. Die treibende Kraft ist die Spannung, die in den flüssigen Oberflächen ihren Sitz hat.

Wir können erst später näher darauf eingehen, wie sich die Verhältnisse unter der Herrschaft dieses Princips im allgemeinsten Falle ausgestalten. Es sollte hier zunächst nur auf die beim ersten Eindruck sich aufdrängende, und wie bemerkt auch schon von früheren Beobachtern erkannte, Analogie der Erscheinungen hingewiesen werden. Jeder Versuch einer eingehenderen Behandlung der betreffenden Verhältnisse im pflanzlichen Zellgewebe stösst zunächst auf mancherlei Schwierigkeiten. Denn die Umstände liegen hier in vielen Beziehungen wesentlich anders wie in einem Schaumgewebe. Jeder Schnitt durch den Körper einer höheren Pflanze, mit seinen mannigfach differenzirten und verschieden ausgestalteten Zellkammern, zeigt uns das. Die Kammerung vollzieht sich in der Pflanze succedan, nach bestimmten Gesetzen, die gebildeten Räume nehmen nachträglich an Grösse zu und in verschiedener Weise. Die trennenden Zellwände sind zudem nicht flüssigen Lamellen ohne weiteres zu vergleichen, auch sind sie im pflanzlichen Gewebe nicht wie diese alle von gleicher Dicke und Plasticität.

Einen klaren Einblick in die ganze Sachlage gewinnen wir nur, indem wir in möglichster Anlehnung an die in der Pflanze realisirten Verhältnisse, zunächst eine Reihe von möglichst einfachen Einzelfällen näher discutiren.

Die Zellkammern entstehen in der Pflanze für gewöhnlich durch Zweitheilung der vorhandenen. Die Theilung ist ferner in der Regel — wenigstens im vegetativen Gewebe — annähernd eine Halbirung.

Es empfiehlt sich nun zunächst, an der Hand rein stereometrischer Erörterungen, zu untersuchen, welche Lage eine flüssige Lamelle annehmen muss, die Räume von bestimmter Gestalt theilt, wenn sie dabei dem Bestreben ihre Oberfläche möglichst zu verringern frei folgen kann. Indem wir hierbei nach Formen und relativen Dimensionen solche Räume auswählen, wie sie in pflanzlichen Zellen realisirt sind, erhalten wir eingehendere Aufklärung über die statthabenden Beziehungen und können entscheiden, ob und in wie weit die thatsächlich vorkommenden Theilungsweisen den Forderungen des angeführten Princips entsprechen oder nicht.

Nehmen wir zunächst an, es handle sich um Halbirung der betreffenden Räume durch eine flüssige Lamelle.

Wir haben dann, von den einfachsten Körperformen ausgehend, zuerst zu untersuchen, welche Lage unter den gemachten Voraussetzungen die flüssige Halbirungslamelle in einem Würfel oder in einem Parallelepipedon einnehmen muss.

Jede Ebene, welche das Centrum eines Würfels in sich aufnimmt, halbirt seinen Innenraum, wie leicht ersichtlich. Die Fläche einer solchen wird aber nur dann zu einem Minimum, nämlich $= a^2$ (a für die Seite des Würfels gesetzt), wenn sie auf den Seitenflächen senkrecht steht. Es sind aber im Würfel drei solcher Richtungen möglich, parallel den drei Paaren von Gegenseiten, die also alle drei den Bedingungen genügen.

Eine derartige ebene flüssige Halbirungslamelle ist nun aber nur unter ganz bestimmten Bedingungen möglich und stabil. Für die Art und Weise ihres Ansatzes an die festen Wände des Würfels sind nämlich die Gesetze über den Randwinkel massgebend, die wir schon im dritten Kapitel näher besprochen haben. Wir können darum hier zunächst auf das dort schon Gesagte verweisen und uns an dieser Stelle mit einer kurzen Erörterung der hier in Betracht kommenden speciellen Verhältnisse begnügen.

Wäre unser Würfel gefüllt mit gleichen Quantitäten zweier nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten von annähernd gleichem specifischen Gewicht, von denen die eine die andere nicht vollständig von der Wand zu verdrängen im Stande sein soll, so würde die Trennungsfläche zwischen beiden im allgemeinen die Form eines Meniscus besitzen müssen, und zwar müsste die Concavität dieser Fläche nach der Seite derjenigen Flüssigkeit gerichtet sein, welche die geringere Adhäsion zu der Substanz der festen Wände besitzt. Der Ansatzwinkel an die Wände würde nach der Seite dieser letzteren Flüssigkeit ein stumpfer, nach der Seite der zweiten dagegen ein spitzer sein. Nur in dem Falle, dass beide Flüssigkeiten genau die gleiche Adhäsion an die festen Wände besitzen, wird die Lamelle sich rechtwinklig an sie ansetzen und dementsprechend zu einer ebenen Fläche werden von der Grösse a^2.

Principiell bleiben nun die Verhältnisse die gleichen, wenn die beiden angenommenen Flüssigkeiten sich nicht direct berühren, sondern durch eine zwischen ihnen ausgebreitete dünne Lamelle einer dritten Flüssigkeit voneinander getrennt werden. Ist dabei die Bedingung erfüllt, dass keine dieser drei Flüssigkeiten eine der anderen vollständig von der festen Wand zu verdrängen im Stande ist, so erhalten wir jetzt statt zwei vier paarweise zusammengehörige Randwinkel. Die dünne trennende Lamelle dieser dritten Flüssigkeit wird dann am Rande etwa die in Fig. 1, Taf. V skizzirten Formen annehmen. Denn im allgemeinen werden die Randwinkel zwischen 1 und 3 und zwischen 2 und 3 von verschiedener Grösse sein, es muss sich also die Lamelle von 3 am Rande zunächst verdicken, in der Weise etwa, wie es die beiden Skizzen a und b angeben. Das Resultat ist auch hier, dass die ganze Lamelle nicht eben sein kann, sondern concav nach der Seite derjenigen der

Flüssigkeiten 1 und 2, die mit 3 an der festen Wand den grössten Randwinkel besitzt. Nur in dem Falle wird sie eben, wo die beiden Paare von Randwinkeln gleich sind. Im allgemeinen wird das aber nicht der Fall sein, es wird aber eintreten müssen, wenn die Flüssigkeiten 1 und 2 identisch sind.

Operiren wir nun mit Seifenlamellen in wie gewöhnlich mit Gasen gefüllten Räumen, so liegen die Verhältnisse genau ebenso. Sind die Gase zu beiden Seiten der Lamelle verschiedener Natur, so wird die Lamelle sich im allgemeinen den festen Wänden schiefwinklig ansetzen und nach der Seite des einen von ihnen convex vorwölben müssen. Ist aber beiderseits dasselbe Gas, etwa Luft vorhanden, so muss der Ansatz ein rechtwinkliger, die Lamelle eine ebene werden.

Was die Form der gekrümmten Lamelle anbetrifft, so würde dieselbe bei schiefwinkligem Ansatz schon in einem würfelförmigen Raum eine sehr complicirte und hier nicht näher zu erörternde sein. Die Art und Weise der Krümmung wird bedingt durch das für alle Flächen minimae areae geltende Gesetz, dass die Summe der reciproken Werthe der Krümmungsradien in jedem Punkte der Fläche nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen constant sein muss. In einem cylindrischen Raum von kreisförmigem Querschnitt nimmt auf Grund dieser Bedingung die Oberfläche der Lamelle immer eine sehr einfache Gestalt an, sie wird zu einem Theil einer Kugeloberfläche, von je nach der Grösse der Randwinkel wechselndem Radius.

Wir können uns nun bei unseren Betrachtungen zunächst beschränken auf die Specialfälle, bei denen die flüssigen Lamellen sich den festen Wänden rechtwinklig ansetzen.

Ist statt eines Würfels ein Parallelepipedon zu halbiren, so liegen die Verhältnisse ziemlich ebenso, mit dem Unterschiede, dass die den drei Paaren von Gegenseiten parallelen Richtungen nicht gleichwerthig sind. Nur eine Lage der flüssigen Lamelle wird darum im allgemeinen den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen entsprechen, nämlich die, wo sie den kleinsten Gegenseiten parallel verläuft, also senkrecht steht zur Längsachse des Raumes.

Auch in allen anderen Prismen wird die Halbirungslamelle den Grundflächen parallel die Mitte durchsetzen müssen, wenn die Höhe derselben grösser ist als die grösste Höhe der Grundflächen. In allen anderen Fällen können unter gewöhnlichen Umständen andere stabile Lagen der Lamelle auftreten, auf die wir aber erst weiter unten näher einzugehen haben.

Dasselbe wie für Prismen, gilt auch für cylindrische Räume, mag der Querschnitt derselben nun kreisförmig, elliptisch, eiförmig, oder

sonstwie gestaltet sein. Auch hier müssen aber die Formen, deren Höhe geringer ist als der grösste Durchmesser der Grundfläche, zunächst von der Betrachtung ausgeschlossen werden.

Auch für eine Reihe anderer Körperformen von complicirterer Gestalt, aber mit rechteckigem Längsschnitt liegen die Verhältnisse ähnlich. So z. B. für Formen mit biconvexer, planconvexer, concavconvexer Grundfläche, oder für entsprechende Combinationen bei drei-, vier-, fünf- und mehrseitiger Grundform, wie sie in mannigfaltiger Weise Randzellen, Segmente u. s. w. in der Pflanze so oft zeigen. Auch für sie ist, von einer gewissen Höhe ab, nur eine Halbirungslamelle in querer Richtung die den Anforderungen des Princips entsprechende.

Aber auch für pyramidale, resp. kegelförmige Räume wird unter bestimmten Umständen, wenn nämlich die Höhe eine hinreichend grosse ist, die Halbirungslamelle nur eine quere Richtung haben können. Aber die Lamelle kann in diesen Fällen, des rechtwinkligen Ansatzes an die gegeneinander geneigten Seitenwände wegen, keine ebene mehr sein, sondern sie muss sich in nach den Einzelfällen mehr oder weniger complicirter Weise gegen die Grundfläche des Körpers vorwölben. Es wäre für unsere Zwecke zunächst interesselos, das hier näher zu verfolgen.

Erzeugen wir nun aber in den vorstehend besprochenen Körperformen Theilungslamellen, welche den Innenraum in ungleiche Hälften zerlegen, so kann ihre Richtung dadurch unbeschadet der Stabilität zunächst ungeändert bleiben. Sie wird sich anfangs nur parallel ihrer Lage bei Halbirung nach der Seite der kleineren Theilhälfte verschieben müssen. Aber nur bis zu gewissen Grenzfällen der Grössendifferenz der beiden Theile, deren Werth im einzelnen von den relativen Dimensionen der zu theilenden Räume abhängt, trifft dies zu.

Es wird zunächst genügen, dies für den Fall des Würfels eingehender zu besprechen. Theilen wir einen würfelförmigen Raum durch eine flüssige Lamelle und lassen die beiden Theile so ungleich werden, dass die Lamelle sich der einen Seitenwand schliesslich stark nähert, so entspricht von einem gewissen Moment an diese Lage parallel einer Seitenfläche nicht mehr den Anforderungen des Princips der kleinsten Flächen. Es gibt dann eine andere Lage der Lamelle, wo bei demselben Volumverhältniss der durch sie getrennten Abschnitte des Würfelraumes ihre Fläche kleiner ist als a^2. Die Lamelle muss dann eine der Kanten des Würfels überspannen und von ihm einen Cylinderquadranten abschneiden, wie es die Zeichnung auf Taf. V, Fig. 2 zeigt. Es lässt sich leicht bestimmen, wann dies eintreffen muss.

Der aus dem Würfel herausgeschnittene Cylinderquadrant muss einem Kreiscylinder zugehören, denn nur in diesem Falle wird bei gegebenen Volumen die Oberfläche der Lamelle zu einer Fläche minimae

areae, wie geometrisch leicht zu erweisen ist. Der Radius (r) dieses Cylinders ergibt sich in folgender Weise: Im Grenzfall ist die Oberfläche des Quadranten $= a^2$. Als vierter Theil der Mantelfläche des Cylinders vom Radius r ist sie aber auch $= \frac{1}{4} \cdot 2r\pi \cdot a = \frac{r \cdot \pi \cdot a}{2}$.

Daraus wird $r = \frac{2a}{\pi}$.

Das Volum des Quadranten ist $\frac{1}{4} \cdot r^2 \pi \cdot a$, also für $r \frac{2a}{\pi}$ eingesetzt, $= \frac{a^3}{\pi}$.

Die einer Würfelseite parallele Lamelle, welche ein gleiches Volumen abtrennen würde, müsste in der Entfernung $\frac{a}{\pi}$ von der Seitenfläche verlaufen. Denn nennen wir diese Entfernung x, so ist der Inhalt der abgetrennten Scheibe $= a^2x$, und das ist der Voraussetzung nach $= \frac{a^3}{\pi}$.

Sobald sich also die Trennungslamelle der Seitenfläche über den Werth $\frac{a}{\pi}$ hinaus nähert, entspricht ihre Lage den Anforderungen des Princips der kleinsten Flächen nicht mehr. In einem Parallelepipedon liegen die Verhältnisse mutatis mutandis ebenso wie im Würfel. Aehnlich auch in anderen Prismen, im Cylinder und in den übrigen oben erwähnten Formen. Aber diese bieten uns, wenn sie, wie oben angenommen, eine bedeutendere Länge besitzen, für unsere Zwecke kein weiteres Interesse dar.

Interessantere Verhältnisse ergeben sich aber, wenn solche Körperformen so geringe Höhe besitzen, dass die Halbirungslamelle von minimaler Oberfläche nicht mehr eine den Grundflächen parallele Lage einnehmen kann, sondern zu ihnen senkrecht stehen, sie also selber theilen muss. Unter bestimmten Umständen muss dann schon bei der Halbirung das eintreten, was im Würfel und Parallelepipedon erst bei Ungleichtheilung erfolgen kann, nämlich die Abtrennung einzelner Kanten.

Betrachten wir zunächst ein niedriges Prisma mit trapezförmiger Basis. Sind die Grundflächen zwischen ihren beiden Grundlinien a und b, oder in der Richtung senkrecht dazu stark gestreckt, so kann die Halbirungslamelle nur zu ihnen parallele oder senkrechte Lage einnehmen (11 und 22 in Fig. 4, Taf. V). Anders aber, wenn bei mehr isodiametrischem Gesammtumriss die beiden Grundlinien beträchtliche Grössendifferenzen aufweisen. Die Halbirungslamelle muss dann im allgemeinen eine der zur Seite der grösseren Grundlinie gelegenen Kanten abschneiden, wenn sie von minimaler Fläche werden soll, und zwar muss sie den kleinsten der beiden ihr anliegenden Winkel überspannen, wie leicht ersichtlich (33, Fig. 4). Sie wird sich ferner recht-

winklig an die beiden Seitenwände ansetzen und gleichmässig krümmen müssen, also wieder einen Theil der Oberfläche eines Kreiscylindermantels bilden.

Es lässt sich für jeden Einzelfall ohne Schwierigkeit in derselben Weise wie beim Würfel bestimmen, wann die Abschneidung einer Kante eintreten muss, statt der Halbirung durch eine Längs- oder eine Querwand, aber es hätte für uns kein Interesse, die Rechnung für bestimmte Werthe durchzuführen.

Man kann in einem solchen prismatischen Raum mit trapezförmigen Grundflächen ein und dieselbe flüssige Lamelle leicht in die verschiedenen Lagen übergehen lassen, wenn man die Grössenverhältnisse der Seiten langsam variiren lässt. Man sieht dann die Lamelle, die anfangs etwa den Raum der Länge nach halbirend sich senkrecht an die Grundlinien ansetzte, sich, wenn man die Höhen der Grundflächen allmählich vergrössert, mehr und mehr verschieben, bis sie etwa die Lage 33, Fig. 4, Taf. V angenommen hat. Bei noch weiterer Zunahme der Höhe geht sie dann schliesslich aus dieser Lage in die quere, der Linie 11 in Fig. 4 entsprechend über. In derselben Weise kann man sie, von diesem Anfangsstadium aus, die umgekehrte Wanderung ausführen lassen.

Im geschlossenen Würfel und Parallelepipedon (also in allen vierseitigen Prismen mit rechteckigen Grundflächen) sind die zuletzt geschilderten Umlagerungen nicht möglich. Eine Lamelle, die hier einmal eine einer der Seiten parallele Lage angenommen hat, kann sich nicht verschieben und eine Kante überspannen. Denn diese Umlagerung ist nur möglich, wenn in ihrem Verlauf die Oberfläche der Lamelle stetig abnimmt. Denn erst durch die hierbei gleichzeitig erfolgende Abnahme der Gesammtgrösse der Oberflächenspannung kann die für die Umlagerung nothwendige bewegende Kraft geliefert werden. Im Würfel und Parallelepipedon aber würde die Umlagerung anfangs nothwendigerweise eine Vergrösserung der Flächen bedingen, solange bis eine der beiden Kanten überschritten wäre.

Dagegen könnte aber auch hier eine Lamelle, welche eine Kante überspannt, sich umlagern und den Wänden parallele Lage einnehmen, sobald sie wesentlich grösser als a^2 wäre.

Im dreiseitigen Prisma von sehr geringer Höhe, in welchem also die eine der Grundlinien der trapezförmigen Basis des vierseitigen gleich Null geworden ist, kann natürlich die Halbirung immer nur durch Abschneidung einer der Kanten erfolgen, und zwar wieder derjenigen, deren Winkel die geringste Grösse besitzt.

Die Halbirung weiterer Räume von verschiedener Querschnittsform wird nun nach den Einzelfällen dem bisher gefundenen nach der einen oder nach der anderen Richtung entsprechen müssen. Es dürfte aber

zunächst nicht erforderlich sein, ausführlicher dabei zu verweilen. Wesentlich kommen hier, als für pflanzliche Gewebe von Interesse, Körperformen mit drei- oder vierseitigem Querschnitt und mehr oder weniger gewölbten oder hohlen Seitenflächen in Betracht. Sie schliessen sich, sofern ihr Längsschnitt ein rechteckiger ist, in ihrem Verhalten den drei- und vierseitigen Prismen im wesentlichen an. Bei vierseitigem Querschnitt und geringer Höhe muss je nach den Dimensionsverhältnissen der Grundfläche auch in ihnen Quertheilung, oder Längstheilung, oder Abtrennung einer Kante statthaben. Von besonderem Interesse sind hier Räume von der Fig. 3, Taf. V entsprechenden Querschnittsform ihres vielfachen Vorkommens wegen.

Auch für abgestumpft pyramidale Formen und entsprechende mit mehr oder weniger gewölbten oder hohlen Seitenflächen gilt ganz Aehnliches.

Sobald in allen vorstehend behandelten Fällen die Theilung eine Ungleichtheilung wird, muss natürlich überall da, wo nicht schon die Halbirung in der Weise stattfindet, die Abschneidung von Kanten umso früher erfolgen, je grösser die Volumdifferenz der beiden Theilräume wird. In allem Wesentlichen bleiben aber in diesen Fällen die Verhältnisse zunächst dieselben wie früher, so dass es nicht nöthig ist, hier noch näher bei ihrer Besprechung zu verweilen.

Ueberschreitet aber die Volumdifferenz der beiden Theilräume gewisse, für jeden Einzelfall zu bestimmende Grenzen, so muss schliesslich auch die vorstehend besprochene Lage der Trennungslamelle eine labile werden und nicht mehr bei Ueberspannung einer Kante, sondern nur bei Abschneidung einer Ecke des betreffenden Körpers wird die Lamelle zu einer Fläche minimae areae.

Gehen wir für die nähere Betrachtung dieses Falles zunächst wieder auf Würfel und Parallelepipedon zurück, so ergibt sich, dass in beiden in diesem Falle statt eines Cylinderquadranten ein Kugeloctant durch die Lamelle abgetrennt werden muss. Im Grenzfall müssen also, bei gleichem Volumen auch die entsprechenden Oberflächen wieder gleich werden. Es muss also, wenn a wieder die Seite des Würfels, r der Radius des Cylinderquadranten und r_1 der des bei Abschneidung einer Ecke entstehenden Kugeloctanten ist im Grenzfalle sein:

$$\frac{2r\pi \cdot a}{4} = \frac{4r_1^2\pi}{8} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(I)}$$

und zweitens die Inhalte ebenfalls gleich, also:

$$\frac{r^2\pi a}{4} = \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{3} r_1^3\pi \quad \ldots\ldots\ldots \text{(II)}$$

Aus I ergibt sich:

$$r\pi a = r_1^2\pi$$
$$r_1 = \sqrt{r \cdot a}$$

Aus II: $\frac{r^2\pi a}{4} = \frac{r_1^3\pi}{6}$. Für r_1 den gefundenen Werth $\sqrt{ra}$ eingesetzt gibt:

$$\frac{r^2\pi a}{4} = \frac{ra \cdot \sqrt{ra}\,\pi}{6}$$

$$\frac{r}{4} = \frac{\sqrt{ra}}{6}$$
$$\frac{3}{2} r = \sqrt{ra}$$
$$\frac{9}{4} r^2 = ra$$

Also $r = \frac{4a}{9}$

Und schliesslich $r_1 = \sqrt{\frac{4a}{9} \cdot a}$
$= \frac{2}{3} a$

Es hätte keinen Zweck eine entsprechende Berechnung auch für Parallelepipeda von bestimmten Dimensionsverhältnissen durchzuführen.

Es ist nun leicht, mit Hülfe von Seifenlamellen, die entsprechenden Umlagerungen, sobald der Grenzfall überschritten wird, zu demonstriren. Sie finden jetzt auch im Würfel und Parallelepipedon statt, weil der Uebergang in die stabile Lage mit einer stetigen Oberflächenverminderung der flüssigen Lamelle verbunden ist. Während dieselbe dabei von der einen Ecke zurückweicht, nähert sie sich der gegenüberliegenden und überschreitet dieselbe schliesslich, um in Form eines Kugeloctanten die erstere vom übrigen Körperraum abzutrennen.

Bei allen oben betrachteten Körperformen muss nun an Stelle einer Kante eine der Ecken durch die flüssige Lamelle abgetrennt werden, sobald ein bestimmter Grenzfall in den Grössendimensionen der beiden Theilräume überschritten wird. Es hätte aber kein Interesse für uns, das hier noch weiter zu verfolgen. Näher einzugehen haben wir nur noch auf solche Körperformen, für welche schon die Halbirung, wenn sie dem Princip der kleinsten Flächen entsprechen soll, nur durch Abschneidung einer Ecke erfolgen kann.

Solche Formen sind bestimmte niedrige Pyramiden und Kegel, sowie an sie sich anschliessende Gestalten mit z. Th. gewölbten oder hohlen Seiten. Sind alle Seitenflächen gewölbt, so kann in diesem Falle die Grundfläche natürlich auch ein Zweiseit sein. Derartige Formen finden wir in den Scheitelzellen zahlreicher Pflanzen in mancherlei Variationen vor.

In der dreiseitigen Pyramide kann die dem Princip der kleinsten Flächen entsprechend gelagerte Halbirungslamelle nur eine der drei Ecken an der Basis oder auch die Spitze selber abtrennen, und zwar wird es im stabilsten Falle immer die am meisten ausgezogene Ecke sein müssen, welche von der Lamelle überspannt wird.

In der vierseitigen Pyramide kann zunächst die Spitze durch eine der Grundfläche gleichgerichtete Lamelle abgeschnitten werden.

Dann aber auch unter bestimmten Umständen wieder, wenn die Grundfläche Trapezform besitzt, eine der ihr anliegenden Ecken, etwa wie durch die Lamelle a'b'c' in Fig. 6, Taf. V.

Bei anderen Grössenverhältnissen würde die Halbirungslamelle auch eine Kante abschneiden und etwa die in derselben Figur durch die Lamelle a b c d angedeutete Lage annehmen müssen.

Bei Ungleichtheilungen werden bei allen diesen Körperformen erst recht Ecken abgeschnitten werden müssen.

Es gibt nun noch einige Körperformen von complicirterer Gestalt, die aber ein besonderes Interesse dadurch in Anspruch nehmen, dass sie in der Natur bei Scheitelzellen u. s. w. öfter realisirt sind. Es sind das glocken- oder uhrglasförmige Räume in mannigfaltigen Variationen, mit kreisförmigen oder auch mehr oder weniger plattgedrückt elliptischen Querschnitten, etwa den Skizzen a, b, c, Taf. V, Fig. 5 entsprechend. Es ergibt sich nach allem Vorhergehenden leicht, wie je nach den Variationen der Breiten- und Höhendimensionen in den Einzelfällen die Lagerung einer diese Räume in gleiche oder ungleiche Hälften theilenden Lamelle sich gestalten muss. Ist die Form eine gestrecktere, so wird sie quer gerichtet sein müssen, wie a zeigt, im entgegengesetzten Falle muss sie ihn der Länge nach theilen, wie c angibt. In anderen Fällen aber, wenn die Unterschiede der Dimensionen weniger extreme sind, wird die Lamelle auch eine geneigte Lage annehmen und an der Basis eine Ecke abschneiden müssen, wie es b zeigt. Bei elliptischem Querschnitt muss sie in diesem Falle natürlich dem kleinsten Durchmesser desselben gleichgerichtet sein und eine der schmaleren Ecken abtrennen.

Die Ergebnisse unserer vorstehenden Betrachtungen erleiden nun keine principiellen Modificationen, wenn wir die einschränkende Voraussetzung, die wir bisher gemacht hatten, fallen lassen, dass nämlich die Lamellen sich den gegebenen festen Wänden rechtwinklig ansetzen sollen.

Ein schiefwinkliger Ansatz, der also eintreten muss, sobald die Adhäsions- und Spannungsverhältnisse zu beiden Seiten der Lamelle ungleiche werden, also wenn sie z. B. verschiedene Flüssigkeiten oder Gase voneinander trennt, würde nur insofern von Einfluss sein können, als in bestimmten Körperformen bei bestimmten Verhältnissen der re-

lativen Dimensionen auch die Lage der Lamelle eine Aenderung erleiden müsste. Es könnte z. B. statt einer Lamelle, die einer Seitenwand gleichgerichtet verlief, bei rechtwinkligem Ansatz, jetzt eine solche auftreten müssen, die eine Kante oder Ecke abschneidet und umgekehrt.

Im Einzelnen darauf näher einzugehen, wird nach den detaillirten Auseinandersetzungen auf den vorhergehenden Seiten nicht mehr nöthig sein.

Wenn wir nun die Ergebnisse der bisherigen Betrachtungen vorläufig vergleichen mit der Art und Weise, wie sich in den verschiedenen pflanzlichen Objecten die Zellen bei entsprechenden relativen Dimensions- und Formverhältnissen theilen, so kann es zunächst keinem Zweifel unterliegen, dass hier bestimmte Beziehungen vorhanden sein müssen. Wir sehen, dass in so zahlreichen Fällen, dass von einer Aufzählung von Beispielen hier zunächst ganz abgesehen werden kann, die Theilwand diejenige Lage und Krümmung annimmt, welche sich aus den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen nothwendig ergibt und es lässt sich in vielen anderen Fällen nachweisen, dass zwischen der wirklich eingenommenen Lage und der vom Princip verlangten ein enger Zusammenhang besteht.

Nun ist die Zellwand aber keine flüssige Lamelle, welche infolge der an ihrer Oberfläche herrschenden Spannung sich wie jene möglichst zu verkleinern bestrebt wäre, und darum von selbst die dem entsprechende Lage im Zellraum aufsuchte. Sie entsteht in der Regel von vorn herein in ihrer definitiven Lage, successive ausgeschieden und meist erst nachträglich mit der alten Membran in Zusammenhang tretend. Insofern liegen also die Verhältnisse hier wesentlich anders, als bei der Zertheilung hohler Körperformen durch flüssige Lamellen. Wenn die Membran bei der Zelltheilung die von dem Princip der kleinsten Flächen geforderte Lage und Krümmung annimmt, so werden wir den Grund dafür in andrer Weise abzuleiten haben.

Die Lage der neuen Zellmembran wird nun aber bedingt durch die im Plasmakörper der sich theilenden Zellen herrschenden, resp. im Verlauf des Theilungsvorganges allmählich sich herstellenden Symmetrieverhältnisse, wie das im vorigen Kapitel eingehend behandelt wurde. Die neue Symmetrieebene scheidet aber das ursprünglich einheitliche System des plasmatischen Emulsionstropfens der Zelle in zwei neue Systeme, welche sich in den ursprünglichen Raum zu theilen haben. Wenn wir nun auch das Ineinandergreifen der Factoren, die bei der Ausbildung dieser Symmetrieverhältnisse massgebend, im Einzelnen gar nicht zu übersehen im Stande sind, so kann es doch in keiner Weise

befremden, dass, da unter diesen Factoren auch die aus der äusseren Zellform sich ergebenden, wie wir früher sahen, eine wesentliche Rolle spielen, die neue Symmetrieebene, und damit auch die gesammte Oberfläche der beiden neuen Zellen, nach Lage und Form zu einer Fläche minimae areae wird.

Aber nothwendig ist das in der Zelle nicht, wie bei den Flüssigkeitslamellen. Denn wir sahen schon früher, dass die Symmetrieverhältnisse der Zellen von der äusseren Form oft vollständig unabhängig werden, und auch unter Mitwirkung der äusseren Formverhältnisse können bei dem Incinandergreifen der verschiedenen Factoren sich Theilungsrichtungen ergeben, die mit den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen nicht in Uebereinstimmung stehen.

Solche kommen im Pflanzengewebe oft genug vor. Sehr oft theilen sich prismatische oder cylindrische Zellen der Länge nach, wenn das Princip eine Querwand, der Quere nach, wenn es eine Längswand verlangte. So theilen sich oft die Markzellen, die Zellen des Grundparenchyms sich entwickelnder Blätter nur quer, obwohl ihre Höhe im Vergleich zur Breite nur gering ist, z. B. bei Ligustrum, im Blattstiel von Hyacinthus u. s. w. Umgekehrt theilen sich bekanntlich die langen und engen Cambiumzellen nur der Länge nach und dazu gewöhnlich auch in der Weise, dass auch der Querschnitt der Länge nach, den Forderungen des Princips zuwider getheilt wird. So haben sich ferner die auf Taf. IV, Fig. 11b dargestellten Randzellen von Taonia der Länge nach, die in 11a abgebildete, sowie die entsprechende langgestreckte Randzelle von Zonaria parvula, Fig. 12, Taf. IV durch eine sich schräg seitlich ansetzende Wand getheilt, während das Princip in allen Fällen eine Querwand verlangt hätte. Auch die Theilungsrichtungen in den Scheitelzellen von Metzgeria, Farnprothallien (Taf. V, Fig. 16), in den jüngeren Randzellen der letzteren, sowie in den entsprechenden Zellen der Farnblätter, die ersten Theilungen in den Segmenten des Stammes von Equisetum und Salvinia schliessen sich hier ebenfalls als weitere Ausnahmen an.

Die in Fig. 10, Taf. IV wiedergegebenen Randzellen von Aglaozonia reptans, die am Scheitel gebildeten Segmentzellen von Dictyota, Delesseria u. a. zeigen uns umgekehrt Beispiele von Quertheilung, wo das Princip Längstheilung, resp. Abschneidung von Kanten oder Ecken verlangt hätte.

Es würde sehr leicht sein, aus der entwicklungsgeschichtlichen Literatur weitere derartige Beispiele beizubringen, die angeführten dürften aber hier zunächst genügen.

Es ist aber von grossem Interesse, dass auch in diesen Fällen die Forderungen des Princips der kleinsten Flächen im allgemeinen niemals ganz ausser Acht gelassen werden. So finden wir niemals, dass

eine Trennungswand sich einer Zellkante oder Zellecke direct ansetzt, sie biegt sich immer vorher gegen eine der Seitenwände um. Und es zeigen ferner sowohl die Cambiumzellen, wie auch die oben angeführten Randzellen, dass schliesslich, wenn ihre Längen- oder Breitendimensionen ein bestimmtes Mass überschritten haben, auch in ihnen der den Forderungen des Princips entsprechende Wechsel in der Theilungsrichtung eintritt. Anstatt der Längswände tritt eine Querwand, an Stelle der letzteren eine Längswand auf.

Es beweist dies, dass bei dem Ineinandergreifen der verschiedenen Factoren, welche die Symmetrie der sich theilenden Zelle beherrschen, die aus der äusseren Körperform sich ableitenden Einflüsse wohl oft mehr oder weniger in ihrer Bedeutung zurückgedrängt werden können, dass sie aber doch in der Regel keineswegs ganz unwirksam werden.

Da wir oben sahen, dass eine flüssige Lamelle nur in einem Specialfalle sich den Seitenwänden des Raumes, den sie theilt, rechtwinklig ansetzen muss, nämlich dann, wenn die Wände, so wie die Medien beiderseits von ihr von gleicher Beschaffenheit sind, dass in allen anderen Fällen aber die Ansatzwinkel im allgemeinen schiefe sein müssen, so kann es nicht auffallen, dass wir auch bei der Theilung pflanzlicher Zellen nicht selten einen entsprechenden schiefwinkligen Ansatz der auftretenden Membran finden.

Das ist z. B. in ganz auffallendem Masse der Fall in den Scheitelzellen von Dictyota und Delesseria, wie die nach dem lebenden Object genau gezeichnete Abbildung auf Taf. VI, Fig. 3 für Delesseria beweist. So setzt sich auch, wie aus dieser Figur ebenfalls hervorgeht, in den randständigen Scheitelzellen dieser Alge die Segmentwand innen unter sehr spitzem Winkel an, und dasselbe hat statt nicht minder auffallend in den Scheitelzellen von Metzgeria, sowie der Farnprothallien (Taf. V, Fig. 16). Auch bei Taonia und Zonaria (Taf. IV, Fig. 11 a, 12) kommt dasselbe Verhalten vor, und ohne Zweifel bei vielen anderen Objecten mehr, wenn man nur eingehender danach suchen wird. So habe ich mich auch davon überzeugen können, dass in der keimenden Equisetumspore die erste Theilwand, die uhrglasförmig gebogen die zum Rhizoid auswachsende Zelle abschneidet, sich bei ihrer Bildung sofort unter ziemlich spitzem Winkel der Sporenmembran ansetzt.

Wir können es nun dahin gestellt sein lassen, ob in solchen Fällen der schiefwinklige Ansatz der neuen Membran auf denselben Ursachen beruht, wie ein entsprechendes Verhalten flüssiger Lamellen, auf die Constatirung der Thatsache kommt es hier zunächst an. Es kommen aber fernerhin im pflanzlichen Gewebe nicht selten Theilungsrichtungen, allerdings meist nur als mehr zufällige Abweichungen vor, die in keiner

Weise mit den Forderungen der Gesetze über die Randwinkel in Einklang gebracht werden können.

So werden bei Metzgeria nicht selten die Segmente durch eine ebene, aber die Zelle schräg durchsetzende Membran getheilt, und dasselbe wird häufig genug als Abweichung beobachtet bei den späteren Theilungen in den Segmenten von Dictyota, Taonia, Zonaria u. s. w. Göbel[1]) hat versucht, diese Abweichung bei Metzgeria aus nachträglicher Verschiebung der ursprünglich sich rechtwinklig ansetzenden Membran zu erklären, ich habe mich aber am lebenden Material überzeugt, dass diese Annahme auch für dieses Object durchaus unzulässig ist.

In allen diesen letzteren und anderen Fällen liegen nur zufällige Abweichungen vor, die nicht im Stande sind die Bedeutung der allgemeinen Regel zu beeinträchtigen. Ganz constant sind aber solche Theilungsrichtungen schräg durch den Zellraum hindurch, wie schon Reinke[2]) hervorgehoben hat, bei einigen Algen, wie Callithamnion Borreri und C. thujoides. Die successiven Segmentwände der Scheitelzelle sind hier ganz regelmässig abwechselnd nach rechts und links geneigt. Von vorn herein schräg aufgerichtet sind auch die Theilwände, durch welche bei vielen Polysiphonien die grösseren, blattbildenden Segmentzellen gebildet werden, wie Kny[3]) fand und ich selber bestätigen konnte[4]), ferner die Segmentwände am Scheitel von Crouania annulata nach meinen Befunden.[5])

Die Neigungswinkel der successiven Wände verschieben sich hier um etwa 120°, sodass jedesmal die vierte Wand wieder der ersten parallel gerichtet ist. Indessen kommen hiervon, wie Schwendener[6]) neuerdings gezeigt hat, mancherlei Abweichungen vor, auf welche näher einzugehen hier aber zu weit führen würde.

Die in der Pflanze durch regelmässig wiederholte Bildung von Membranlamellen sich fächernden Räume sind im allgemeinen infolge der Wachsthumsvorgänge regelmässigen Veränderungen des Volumens und der Gestalt unterworfen, denen zufolge die aufeinanderfolgenden Theilwände für jeden Einzelfall ganz bestimmte Lage und Richtung zueinander einnehmen.

Um einen klaren Einblick in die hier herrschenden Gesetzmässigkeiten zu erlangen, wird es auch an dieser Stelle wieder am zweck-

1) Arbeiten d. Würzburg. botan. Instituts. Bd. II. S. 287.
2) Lehrbuch der Botanik. Berlin 1880. S. 109.
3) Ueber Axillarknospen bei Florideen.
4) Pringsh. Jahrbücher. Bd. 13. 1882. S. 624 f.
5) Botan. Zeitung 1883. S. 729.
6) Berichte der Berlin. Akad. d. Wissenschaften. 1885. S. 933 ff.

mässigsten sein, im Anschluss an die wirklich vorkommenden Fälle zunächst rein theoretisch zu untersuchen, wie sich die betreffenden Zellnetze gestalten müssen, wenn für die Anordnung der Lamellen allein die Anforderungen des Princips der kleinsten Flächen massgebend sind.

Um die Verhältnisse zunächst möglichst einfach zu wählen, wollen wir vorläufig die Voraussetzung machen, dass bei den successiven Theilungen die betreffenden Räume zunächst halbirt werden sollen, dass ferner intercalares Wachsthum und intercalare Theilungen ausgeschlossen und die successive entstehenden Zellen alle von gleicher Grösse sein sollen. Auch soll sich schliesslich die Umrissform des wachsenden Gebildes zunächst im wesentlichen unverändert erhalten.

Ein einfaches fadenförmiges Gebilde wird unter diesen Umständen sich, wie so viele Algen und Pilzfäden mit alleinigem Spitzenwachsthum, durch successive Querwände in eine Reihe von Kammern zerlegen müssen, vorausgesetzt, dass bei dem Eintritt der jedesmaligen Theilung der Scheitelzelle die Höhe ihren Durchmesser wesentlich übertrifft, dass also die Dicke des Fadens im Verhältniss zur Zellgrösse keine zu beträchtliche ist.

Als zweites Object sei eine Cylinderscheibe von geringer Höhe gegeben. Sie soll ohne an Dicke zuzunehmen am Rande gleichmässig weiter wachsen, wie etwa die scheibenförmigen Thallome verschiedener Algen.

Die erste Theilwand wird natürlich, einen Durchmesser in sich aufnehmend, zu den beiden Grundflächen senkrecht erfolgen. Bei der zweiten Theilung werden die beiden Hälften gleichzeitig in Quadranten zerfallen müssen. Jeder von ihnen wird dann durch eine Octantenwand in zwei weitere, aber formungleiche Hälften zerfallen. Bevor wir nun sicher feststellen können, wie sich das Zellnetz weiterhin ausgestaltet, ist zunächst näher zu untersuchen, welche Lage diese Octantenwand einnehmen wird. Sie muss sich unseren Voraussetzungen gemäss der Peripherie und einer der beiden Radialwände des Quadranten rechtwinklig ansetzen, den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen entsprechend kreisförmig gebogen sein und den Quadranten halbiren. Wenn wir nun versuchen, für bestimmte Specialfälle die Punkte, wo sie sich der Peripherie und der Seitenwand ansetzen muss, sowie ihren Krümmungsradius durch Rechnung zu bestimmen, so stossen wir auf Schwierigkeiten, indem diese zu complicirten, transcendenten Gleichungen führt. Man gelangt indessen ziemlich leicht in rein empirischer Weise zu einer befriedigenden Lösung der Frage.

Der Mittelpunkt des Kreises, von dem die Halbirungswand ein Bogenstück sein muss, liegt auf einem der beiden Radien des Quadranten und ferner auf der Tangente, die in seinem Schnittpunkt mit der Peripherie des Quadranten an diesen gezogen wird. Entwirft man nun

versuchsweise die Zeichnung auf gleichmässig dickem Papier und schneidet nachher die beiden Theilhälften des Quadranten vorsichtig aus, so gelingt es nach einigem Probiren leicht, Hälften von fast genau gleichem Gewicht, also auch von gleicher Fläche zu erhalten. Auf diese Weise fand ich, dass die durch die Theilwand auf der Peripherie abgeschnittenen Bogen zu den Centriwinkeln $34^0.6$ und $55^0.4$ gehören (vergl. Taf. V, Fig. 7).

Im Raume A muss nun die nächste Halbirung durch eine Pericline erfolgen. Unter der Voraussetzung nämlich, dass das Wachsthum am Scheibenrande in tangentialer und radialer Richtung gleichmässig erfolgt, ergibt sich in ähnlicher Weise, wie oben durch den Versuch, dass dieser Raum sich verdoppelt hat, wenn sein Radius von r auf 1.518 r gewachsen ist. Die Halbirungswand würde natürlich dem Verlauf des Kreisbogens für $r = 1$ entsprechen.

Unter denselben Voraussetzungen hat sich die äussere Theilhälfte ihrerseits wieder verdoppelt, wenn ihr Radius gleich 1.9 r geworden ist. Es ergab sich die Höhe dieses trapezähnlichen, beiderseits von Kreisbogen eingefassten Raumes in einem Specialfalle (also 1.9 r — r) = 56.43 — 29.7 = 26.73. Diese Länge würde also eine in radialer Richtung verlaufende Halbirungswand besitzen. Die entsprechende Halbirungswand in tangentialer Richtung, welche also wieder dem Bogen bei dem Radius 1.518 r entspricht, besitzt die Länge:

$$1.518 \times 29.7 \times 2\pi \cdot \frac{34^0 6}{360},$$

woraus sich für dieselbe der Werth 27.048 ergibt.

Ihre Länge und darum auch ihre Fläche würde also die der radialen Halbirungswand etwas übertreffen, die letztere also die den Anforderungen des Princips entsprechende sein.

Beim weiteren Wachsthum würden sich die beiden zuletzt entstandenen Randzellen natürlich in nicht näher zu bestimmendem Wechsel durch Quer- und Längswände halbiren müssen. Die Anticlinen werden um so seltener werden, je mehr der Radius der Scheibe zunimmt, wie aus geometrischen Gründen leicht ersichtlich.

Was nun den Raum B anbetrifft, so hat sich unter den gemachten Voraussetzungen seine Fläche verdoppelt, wenn der Radius auf 1.347 r angewachsen ist. Durch den Versuch findet man wieder, dass die Halbirungswand minimae areae bei rechtwinkliger Schneidung sich an die Peripherie ansetzen und mit kreisförmiger Krümmung gegen die Octantenwand erstrecken muss. Auf der Peripherie schneidet sie einen Bogen ab, der einem Centriwinkel von etwa $19^0.6$ angehört. Die Construction dieser Wand ergibt sich danach in einfacher Weise.

In der unteren Theilhälfte A', welche ihrer Form nach A entspricht, müssen die weiteren Theilungen in derselben Weise wie in diesem er-

folgen durch Periclinen und Anticlinen. Die Hälfte B′ aber wird sich nach ihrer Verdoppelung voraussichtlich ebenfalls durch eine Pericline halbiren müssen. Vielleicht aber auch noch einmal durch eine Anticline, die sich an die Octantenwand 3 oder an die Wand 4 ansetzen könnte. Ich habe nicht geglaubt, das noch näher bestimmen zu sollen. Wie sich später ergeben wird, treffen die hier gemachten Voraussetzungen in der Natur wohl nie genau zu, die weitere Verfolgung der Frage wäre also ohne praktisches Interesse gewesen. Aber auch ein theoretisches Interesse kann sie nicht weiter beanspruchen, denn man sieht leicht ein, dass unter allen Umständen bei einer der nächsten Theilungen eine pericline Wand auftreten muss. Die dadurch gebildete Randzelle wird sich dann weiterhin aber in derselben Weise, wie die früher besprochenen, durch Periclinen und Anticlinen fächern müssen.

Wenn bei den successiven Theilungsschritten die Zellgrösse allmählich verringert würde, so könnte das doch wesentliche Aenderungen in dem entstehenden Zellnetz nicht hervorbringen. Ein ganz anderes müsste dies aber werden, sobald bei dem Zerfall die Theile ungleiche Grösse erhalten. Die erste den Anforderungen des Princips entsprechende Wand muss in jedem Quadranten auch jetzt eine Octantenwand werden, und muss eine der der Peripherie angelagerten Kanten abschneiden. Das weiterhin entstehende Zellnetz wird aber je nach der Grössendifferenz der Theilzellen in mannigfaltigster Weise variiren können. Es hätte aber weder praktisches, noch auch, nach den Ausführungen in den vorhergehenden Abschnitten dieses Kapitels, theoretisches Interesse, das noch näher zu verfolgen.

Wäre statt des scheibenförmigen Raumes eine Kugel gegeben, deren Volumenzunahme und Fächerung aber unter denselben Voraussetzungen, wie bei jenem stattfinden sollte, so müsste durch die ersten drei Theilungsschnitte natürlich der ganze Raum zunächst in acht Kugeloctanten zerlegt werden. Die Halbirung jedes dieser Octanten muss dann aber durch eine in entsprechender Weise gelagerte, aber doppelt gekrümmte Wand erfolgen, die sich einer der drei Octantenkanten seitlich ansetzt, auf der Kugeloberfläche aber einer der drei Seiten der Octanten gleichsinnig verläuft, welcher von ihnen, ist gleichgültig. In der so entstandenen Hälfte, welche dem Raume A in dem Scheibenoctanten entspricht, wird der weitere Zerfall wie dort durch Periclinen und Anticlinen erfolgen, von denen die letzteren hier natürlich nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen des Raumes werden angeordnet sein müssen. Die andere Hälfte, B entsprechend, wird sich, soweit sich das ohne genauere Bestimmungen, die ich nicht ausgeführt habe, feststellen lässt, durch nach unten schräg verlaufende und sich seitlich ansetzende Wände noch ein oder zweimal halbiren. Zuletzt wird aber auch hier die tetraedrische Oberflächenzelle durch eine Pericline zerfallen und werden somit

die weiteren Theilungen an der ganzen Oberfläche durch Periclinen und Anticlinen erfolgen müssen.

Wenn wir nun absehen von unserer bisherigen Voraussetzung, dass das Wachsthum am Rande in tangentialer Richtung überall dasselbe sein soll, und annehmen, dass die Volumzunahme in tangentialer Richtung an bestimmten Stellen stärker, an anderen schwächer erfolge, resp. ganz fehle, so werden in diesen letzteren Partien sowohl in der Scheibe, wie auch in der Kugel die anticlinen Theilungen mehr und mehr zurücktreten und schliesslich vollkommen verschwinden müssen. Das Gewebe wird an den betreffenden Stellen aus nebeneinanderliegenden Zellreihen, resp. in der Kugel aus Bündeln von solchen bestehen, mit vereinzelten oder ganz fehlenden Dichotomien infolge von Längstheilungen einzelner Randzellen. An den Stellen aber, die jetzt ein stärkeres tangentiales Wachsthum besitzen, als der Umfangszunahme entspricht, werden die Längstheilungen mehr und mehr sich häufen, die Reihen darum stark divergiren. Liegt die Stelle geringeren tangentialen Wachsthums in dem Raume B, so kann unter Umständen schon seine erste Halbirung durch eine pericline Wand zu erfolgen haben. Findet aber hier sehr starkes Wachsthum in tangentialer Richtung statt, so wird die zweischneidige, resp. in der Kugel die tetraedrische Oberflächenzelle etwas länger erhalten bleiben, als wir oben gefunden. Wie lange, habe ich des mangelnden praktischen Interesses wegen nicht näher festzustellen versucht. Denn bei den natürlich vorkommenden Objecten treten unter diesen Umständen regelmässig auch Ungleichheiten des Wachsthums in radialer Richtung hinzu. Es ist darum von besonderem Interesse, jetzt für eine Reihe von Specialfällen noch zu untersuchen, wie sich die Verhältnisse dann, unter der Voraussetzung, dass dem Princip der kleinsten Flächen Genüge gethan wird, gestalten müssen.

Die Wachsthumsintensitäten in tangentialer und radialer Richtung sind an und für sich durchaus unabhängig voneinander, können sich also in der mannigfaltigsten Weise combiniren. Stellen mit starkem radialen Wachsthum wölben sich über die gemeinsame Oberfläche empor, solche mit geringerem werden als eingesenkte Partien erscheinen. Je nach dem hierbei gleichzeitig stattfindenden Wachsthum in tangentialer Richtung wird auch die innere Fächerung eine verschiedene sein. Vorspringende Partien mit fehlendem oder schwachem tangentialem Wachsthum werden sich aus einfachen Fadenbündeln oder aus schwach divergirenden Zellreihen zusammensetzen. Eingesenkte Partien werden unter gleichen Umständen denselben Bau aufweisen.

Ist aber das Wachsthum in tangentialer Richtung an bestimmten Stellen ein besonders starkes, so erfolgt die Fächerung je nach den

Einzelfällen in verschiedener Weise. Ihrer Wichtigkeit für das Verständniss von in der Natur vorkommenden Fällen wegen haben wir eine Reihe von solchen Einzelfällen hier eingehender zu besprechen.

Nehmen wir an, es sei zunächst wieder ein scheibenförmiger Raum von kreisförmigem Umriss gegeben, der schon in vier Quadrantenzellen zerfallen ist (Taf. V, Fig. 10).

An der Stelle a soll nun das Wachsthum in tangentialer Richtung besonders intensiv erfolgen und es soll hier zugleich auch ein Maximum für das Wachsthum in radialer Richtung liegen. Die Octantenwände 33 werden dann in den beiden Quadrantenzellen sich an die Wand 22 ansetzen müssen, nicht an 11, denn die Höhe der Quadranten in der Richtung 22 ist die grössere geworden, infolge des stärkeren radialen Wachsthums in dieser Richtung.

Wenn nun die Intensitäten des radialen und tangentialen Wachsthums in richtigem Verhältniss zueinander stehen, so wird die Theilung auch fernerhin in derselben Weise erfolgen. Jede der beiden a anliegenden Randzellen wird sich wieder durch eine entsprechend orientirte Wand halbiren u. s. w. Wir bekommen so zwei nebeneinanderliegende Scheitelzellen, die durch gleichmässig verlaufende Wände eine Reihe von Segmenten bilden. Die letzteren werden sich dann nach der jedesmaligen Verdoppelung durch Periclinen und Anticlinen weiter zerfällen müssen.

Liegt nun aber umgekehrt die Stelle des überwiegenden radialen und tangentialen Wachsthums bei a', so werden wir ganz andere, aber nach den Einzelfällen wieder wechselnde Zellnetze erhalten. Ist infolge sehr stark überwiegenden radialen Wachsthums die entstehende Protuberanz sehr stark ausgeprägt, so wird unter Umständen schon die erste Halbirungswand so verlaufen müssen, wie es Fig. 9 angibt, und wenn die Entwicklung in derselben Weise weiter fortschreitet, müssen die weiteren Theilungen in der Spitzenzelle in demselben Sinne erfolgen, es entsteht also ein Zellfaden mit sich immerfort der Quere nach theilender Scheitelzelle.

Anders wenn das radiale Wachsthum nicht in dem Grade an einer wenig ausgedehnten Oberflächenpartie überwiegt. In der auftretenden Vorstülpung wird unter diesen Umständen die erste Halbirungswand im Sinne einer Octantenwand erfolgen müssen (Fig. 11, Taf. V, 33). In der oberen Theilhälfte werden aber die weiteren Theilungen, wenn die Wachsthumsintensitäten in radialer und tangentialer Richtung hinreichend grosse sind und wesentlich constant bleiben, durch ähnliche, aber abwechselnd nach rechts und links geneigte Wände zu erfolgen haben. Es kommt an der Spitze so zur Ausbildung einer keilförmigen Scheitelzelle mit abwechselnder Segmentbildung nach rechts und links. Diese regelmässige Abwechslung der Richtung der Halbirungswände beruht

darauf, dass die Symmetrieachse der Wachsthumsvertheilung, also die Linie OR im vorliegenden Falle, von den Halbirungslamellen immer schräg geschnitten wird, was in den vorstehend behandelten Fällen nicht zutraf. Durch das nach der ersten Theilung erfolgende Wachsthum muss darum der zu theilende Raum B seine grösste Höhe in der Richtung der Halbirungswand 33 erhalten, die neue Halbirungswand 44 also senkrecht zu ihr erfolgen. In der neuen Scheitelzelle liegt die grösste Höhe wieder parallel der Wand 44, die folgende Wand 55 muss also wieder 33 gleichgerichtet sein u. s. w.

Für die Aufeinanderfolge und Lage der besprochenen Theilwände in den vorstehend betrachteten Fällen, wo sich einzelne Randzellen zu Scheitelzellen herausbilden, ist natürlich nur die Wachsthumsvertheilung in diesen selber massgebend. Bedeutungslos ist dafür aber die weitere Wachsthumsvertheilung in den gebildeten Segmenten. In diesen kann darum nachträglich sehr starkes Wachsthum in radialer und tangentialer Richtung erfolgen, ohne dass dadurch die Segmentirungsfolge in der Scheitelzelle alterirt werden würde. Die kuppenförmig vorragende Scheitelpartie würde dadurch nur in eine Einsenkung am Rande zu liegen kommen, analog, wie wir das z. B. am Scheitel von Farnprothallien finden.

In dem Falle, dass bei den Theilungen die beiden entstehenden Räume nicht gleiche Grösse erhielten, so würde bei ungeänderter Wachsthumsvertheilung das entstehende Zellnetz doch zunächst im wesentlichen ungeändert bleiben müssen, solange die Grössendifferenzen der beiden Theilzellen keine bedeutenden sein würden. Extreme Fälle haben aber für unsere Zwecke keine Bedeutung, sodass wir sie hier unberücksichtigt lassen können.

Aendert sich aber die Zellgrösse, ohne dass die Theilungen aufhören Halbirungen zu sein, so wird der Erfolg je nach den Umständen ein verschiedener sein müssen, und zwar in Abhängigkeit von der Umrissform des wachsenden Objects, dem Verhältniss, in welchem die Grösse der Zellen zu ihm steht, und der Schnelligkeit, mit welcher bei den aufeinanderfolgenden Theilungen die Zellgrösse abnimmt.

Liegt eine durch Querwände sich fächernde Fadenform vor, so können zunächst auch bei abnehmender Zellgrösse die Quertheilungen in Uebereinstimmung mit den Forderungen des Princips ihren Fortgang nehmen. Schliesslich würde aber die in ihrer Grösse hinreichend reducirte Scheitelzelle sich entweder durch eine Längswand oder durch eine schräg gerichtete Lamelle, der in Fig. 5b, Taf. V entsprechend, halbiren müssen.

Hat Längstheilung stattgefunden, so könnten in den beiden jetzt den Scheitel einnehmenden Zellen die weiteren Theilungen zunächst wieder in querer Richtung erfolgen, schliesslich müssen aber auch in

ihnen wieder Anticlinen auftreten. Bei den weiteren Theilungen werden dann, in nicht näher zu verfolgender Weise, weitere Anticlinen und Periclinen auftreten müssen.

Erfolgte aber in der Scheitelzelle die Halbirung in der durch Fig. 5b, Taf. V angedeuteten Weise, so muss zunächst eine keilförmige Scheitelzelle, wie in Fig. 11, Taf. V, zur Ausbildung kommen, deren Grösse aber allmählich abnimmt. Aber auch sie muss schliesslich verschwinden und es müssen gewöhnliche, durch radiale und tangentiale Wände sich fächernde Randzellen an ihre Stelle treten.

Dasselbe muss natürlich statthaben, wenn eine solche keilförmige Scheitelzelle schon von Anfang an gegeben war.

Es wird nicht erforderlich sein, auch noch zu untersuchen, wie unter diesen Umständen die Verhältnisse sich gestalten müssen, wenn ausserdem statt Halbirung Ungleichtheilung eintritt. Das entstehende Zellnetz wird im wesentlichen die bisher gefundenen Charaktere zeigen, solange die Grössendifferenzen der Theilzellen keine zu extremen werden.

Legen wir nun in entsprechender Weise, wie früher, unseren Betrachtungen weiterhin statt des scheibenförmigen einen kugelförmigen Raum zu Grunde, in dem die Volumvergrösserung und Segmentirung aber unter denselben Bedingungen statthaben soll. Die Segmentirungsfolge wird dann mutatis mutandis der in scheibenförmigen Räumen gefundenen entsprechen müssen.

Dem oben behandelten Falle, wo zwei nebeneinanderliegende Scheitelzellen auftraten (Fig. 10, Taf. V), würde unter diesen Umständen eine ebenso sich verhaltende Gruppe von drei oder vier nebeneinanderliegenden Zellen entsprechen. Der einzigen Scheitelzelle in Fig. 9 eine ebensolche mit dem gleichen Segmentirungsmodus, aber mit kreisförmigem, elliptischem, oder in ähnlicher Weise abgerundetem Querschnitt.

In etwas abweichender Weise würden sich die Verhältnisse aber jetzt gestalten bei einer Wachsthumsvertheilung, welche in dem scheibenförmigen Raume zur Ausbildung einer keilförmigen Scheitelzelle Veranlassung gab, wie es Fig. 11 zeigt.

Gehen wir, in entsprechender Weise wie vorhin vom Kreisquadranten, jetzt vom Kugeloctanten aus, so würde zunächst bei mässig überwiegender Wachsthumsintensität in tangentialer und radialer Richtung die erste Halbirungswand in ihm eine Octantenwand werden, gelagert etwa wie in Fig. 12 die Lamelle a b c d. Bei bestimmter Vertheilung der Wachsthumsintensitäten, wenn die sich verwölbende Kuppe nicht zu flach wird, muss nun die folgende Halbirungswand der Kante a parallel verlaufend etwa die durch e f g in derselben Figur angedeutete

Lage einnehmen. Die weiteren Theilungen werden dann wieder durch abwechselnd nach rechts und links geneigte Wände zu erfolgen haben. Wir würden also in diesem Falle wieder eine keilförmige Scheitelzelle mit zweireihiger Segmentbildung erhalten.

Anders aber, wenn die äussere Kuppe flacher, ihre Breite relativ grösser wird, wenn also das Wachsthum in radialer Richtung dem in tangentialer Richtung gegenüber weniger überwiegt. Der ersten Octantenwand wird dann eine zweite folgen, die einer der beiden anderen Seitenflächen des Octanten gleichgerichtet ist und sich der dritten und der zuerst aufgetretenen Octantenwand rechtwinklig ansetzt. Die folgende Halbirungswand würde in derselben Weise der dritten Octantenwand gleichgerichtet sein müssen, die nächstfolgende sich wieder über die erste lagern u. s. w. So würde eine tetraedrische Scheitelzelle mit dreireihiger Segmentirung sich ausbilden, wie wir sie etwa am Scheitel von Equisetum, der Moose und Farne vorfinden. In derselben Weise, wie die regelmässige abwechselnde Neigung der Halbirungswände nach rechts und links in dem früher besprochenen Falle bei flachen Organen, würde hier der regelmässige Umlauf derselben zu erklären sein, indem vor jeder Theilung die grösste Längenausdehnung der Scheitelzelle in der Richtung senkrecht zur ältesten Seitenwand liegt. Auch hier wieder infolge der gesetzmässigen Lagerung, welche die Scheitelzelle nach jeder Theilung zur Symmetrieachse der Wachsthumsvertheilung einnimmt.

Wir sahen früher, dass im Kugelquadranten auch unter der Voraussetzung, dass das Wachsthum in radialer und tangentialer Richtung an der ganzen Oberfläche gleichmässig stattfindet, anfangs ähnlich Segmentirung statthat. Aber es kann sich unter diesen Umständen eine regelmässige Segmentirungsfolge nicht ausbilden, eben weil die Wachsthumsintensität an allen Stellen der Oberfläche die gleiche ist. Das Oberflächendreieck der Scheitelzelle bleibt darum in diesem Falle immer ein gleichseitiges, während es im vorliegenden Falle ein ungleichseitiges sein muss. Die jedesmalige älteste Seitenwand besitzt die geringste Wachsthumsintensität und wird vor der Halbirung zur kürzesten Seite des Dreiecks, ihr muss infolge dessen die Halbirungswand gleichgerichtet sein.

Bei gleichmässiger Wachsthumsvertheilung an der Oberfläche muss aber ferner, wie wir sahen, zuletzt die Scheitelzelle vernichtet werden, weil in dem Masse als die Kugel an Grösse zunimmt das Wachsthum in tangentialer Richtung dem in radialer gegenüber aus geometrischen Gründen mehr und mehr zurücktritt.

Lassen wir also in einem wachsenden Quadranten die Wachsthumsintensität in radialer und tangentialer Richtung sich allmählich steigern und gleichzeitig mehr und mehr auf eine kleinere Fläche localisiren,

so würden wir anfangs eine tetraëdrische Scheitelzelle mit dreiseitiger Segmentirung erhalten. Von einem bestimmten Zeitpunkt an, wo die Scheitelkuppe eine relativ bedeutende Höhe erlangt hat, würde die Segmentirung eine zweireihige werden, und zuletzt müsste schliesslich die Halbirungswand, etwa wie in Fig. 11, Taf. V die Wand $\alpha\alpha$ die vordere Spitze der Scheitelzelle abschneiden und so die Segmentirung fernerhin durch Querwände erfolgen.

Wenn in den zuletzt besprochenen Fällen die Scheitelzelle statt sich zu halbiren, wieder in ungleiche Hälften zerfällt, so würde die Segmentirungsfolge, so lange die Grössendifferenz der Theilhälften keine zu grosse wird, im allgemeinen ungeändert bleiben, in entsprechender Weise, wie wir das oben bei den scheibenförmigen Räumen unter entsprechenden Umständen fanden.

Auch Variationen in der Grösse der entstehenden Zellen würden dieselben Effecte wie oben hervorrufen. Es ist darum nicht nöthig, hier noch einmal näher darauf zurückzukommen.

Wir haben bei unseren Betrachtungen bisher die vereinfachende Voraussetzung gemacht, dass das Wachsthum nur an der Oberfläche der betrachteten Räume, nicht auch intercalar, resp. in ihrem Innern stattfinden soll. Es bleibt nun noch zu untersuchen, wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn wir diese Einschränkung fallen lassen.

Nehmen wir zunächst an, die Volumenzunahme finde in gleichmässiger Weise statt, entweder nur nach einer, oder aber nach zwei, oder nach allen drei Richtungen des Raumes.

Im ersteren Falle erhalten wir ein fadenförmiges Gebilde, welches sich seiner ganzen Länge nach gleichmässig durch Querwände segmentirt, vorausgesetzt, dass die Dicke des Fadens und die Grösse der Zellen in entsprechendem Verhältniss zueinander stehen.

In einem scheibenförmigen Raum wird andererseits unter diesen Umständen die relative Lage und Richtung aller Segmentwände nach der Volumenverdopplung dieselbe geblieben sein, wie bei ihrem ersten Auftreten, nur die Dimensionen haben sich verdoppelt, Anfangs- und Endstadium sind also ähnliche Figuren im Sinne der Geometrie, wenn man davon absieht, dass nach der dritten Raumdimension Wachsthum nicht stattgefunden hat. Das ganze in einem solchen Raum unter diesen Umständen zur Ausbildung kommende Zellnetz wird darum durchaus richtig erhalten, wenn wir die successiven Zellgrössen bei jeder neuen Theilung auf die Hälfte reduciren, d. h. wenn wir die durch Halbirung entstandenen Räume fort und fort wieder aufs neue halbiren durch den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen entsprechend gerichtete

Wände. Wenn die Theilungen nur in den Randzellen, also nur peripherisch stattfinden, so werden die inneren zwar an Grösse mächtig zunehmen, aber sich ähnlich bleiben, im anderen Falle wird sich aus jeder allmählich eine kleine Zellfläche entwickeln, deren Bau leicht zu construiren ist, sodass es nicht nöthig ist näher darauf einzugehen.

In einer Kugel werden sich schliesslich die Verhältnisse so vollständig den vorstehenden entsprechend gestalten, dass eine eingehendere Besprechung für sie ebenfalls überflüssig ist.

Für das Verständniss der Verhältnisse, wie sie an Wurzelscheiteln mit Scheitelzelle auftreten, ist es aber von Interesse noch etwas näher zu untersuchen, wie sich das Zellnetz gestalten muss, wenn wir von einem regulär tetraëdrischen Raum ausgehen. Unter der Voraussetzung, dass die successiven Theilungen Halbirungen sind und dass das Wachsthum wieder gleichmässig nach allen drei Richtungen des Raumes stattfinde, wird der entsprechende Zellkörper immer die Form eines regulären Tetraëders beibehalten und es wird in ihm immer eine Zelle vorhanden sein, welche Tetraëderform besitzt. Diese letztere Zelle kann an einer der vier Ecken des Tetraëders oberflächlich liegen, wenn alle ihre Theilungen der Fläche, welche der betreffenden Ecke gegenüberliegt, parallel erfolgt sind. Sie kann aber auch das Centrum des ganzen entstandenen Gewebekörpers einnehmen, wenn die successiven Theilwände in regelmässiger Folge den vier Flächen des Tetraëders parallel stattfanden. Schliesslich kann sie aber auch an irgend einer Stelle im Innern des Gewebekörpers gelagert sein, wenn die Theilwände in unregelmässiger Weise nach den vier verschiedenen Richtungen erfolgten. In dem vorliegenden Falle des allseitig gleichmässigen Wachsthums sind alle aufgeführten Fälle gleich gut möglich und mit dem Princip in Uebereinstimmung, da alle vier Theilungsrichtungen in der tetraëdrischen Zelle einander gleichwerthig sind. Anders gestalten sich die Verhältnisse aber, wenn die Wachsthumsintensitäten ungleiche werden, darauf haben wir für diesen Fall weiter unten wieder zurückzukommen, da es nöthig ist, zunächst zu untersuchen, wie sich dann das Verhalten in einfacheren Fällen gestalten muss.

Ist die Intensität des intercalaren Wachsthums an den verschiedenen Stellen der Räume eine ungleichmässige, so ist die Zahl der möglichen Combinationen natürlich eine ausserordentlich grosse und es würde uns viel zu weit führen, auch für die uns interessirenden Fragen von viel zu geringem Interesse sein, hier eine grössere Anzahl von Einzelfällen rein theoretisch zu besprechen. Nur auf einige Fälle wollen wir hier eingehen, welche den oben behandelten, wo wir am Rande Scheitelzellen sich ausbilden sahen, entsprechen. Wir können uns beschränken auf die Fälle der biconvexen und der keilförmigen Scheitelzelle.

Es sei ein Raum gegeben, dessen Längsschnitt etwa die Form $\alpha\beta\gamma$ in Fig. 13, Taf. V besitzt, derselbe soll sich durch die nach unten gewölbte Wand edf halbiren und nun bis zur Verdopplung der oberen Hälfte an Volumen allseitig aber ungleichmässig zunehmen, sodass beim Auftreten der Wand 22 der ganze Raum die in der Figur im Längsschnitt dargestellte Form besitzt. Je nach den Einzelfällen können dann auf jedem Querschnitt die Theilchen entweder in der Nähe der Achse oder in der Nähe der Peripherie in radialer (der Längs-) Richtung stärker vorrücken, wenn wir von complicirteren Fällen absehen. Das Wachsthum in tangentialer Richtung wollen wir der Einfachheit halber so annehmen, dass bei gegebener Vertheilung der Wachsthumsintensitäten in radialer Richtung die Umrissform des Ganzen ungeändert bleibt.

Im vorliegenden Falle wird nun der Punkt a nach a′, b nach b′, c nach c′ gelangen, wenn das Wachsthum in der Längsrichtung an der Peripherie stärker ist, als in der Nähe der Achse. Wenn aber das Umgekehrte der Fall ist, so gelangen b und c nur nach b″ und c″. In entsprechender Weise gelangen die Punkte a, e, f in derselben Zeit nach d′, e′, f′ oder nach d″, e″, f″.

Die Wände b′a′c′ und e′d′ f′ sind nach unten stärker convex gewölbt als bac und edf, b″a′c″ und c″d′f″ sind umgekehrt flacher geworden. Beide Paare setzen sich jetzt der Umrisslinie schiefwinklig an, und zwar ist bei b′a′c′ und e′d′f′ der stumpfe, bei b″a′c″ und e″d′f″ der spitze der nach dem Scheitel zu gerichtete.

In der Scheitelzelle wird nun aber dessenungeachtet die neue Halbirungswand wieder eine Querwand sein, dieselbe wird sich rechtwinklig ansetzen und wieder eine neue Scheitelzelle von der Form der ursprünglichen abschneiden.

Ganz ähnliche Betrachtungen ergeben sich für den Fall der keilförmigen Scheitelzelle. Durch das ungleichmässige Wachsthum in der Richtung der Längsachse wird hier der Winkel, unter dem sich die beiden Segmentwände am Grunde der Scheitelzelle schneiden, grösser oder kleiner werden können, als beim Auftreten der letzten Halbirungswand, also als ein Rechter. Auf den Segmentirungsmodus wird das aber auch hier ohne Einfluss bleiben, so lange die Form der Scheitelzelle dabei im allgemeinen erhalten bleibt.

Ist das aber nicht der Fall, so wird je nach den Umständen die abweichende Segmentirung unmöglich werden können und eine Quertheilung der Scheitelzelle eintreten müssen. Oder es kann die abwechselnde Segmentlagerung auch in eine dreireihige übergehen, schliesslich die Scheitelzelle sich durch eine Längswand halbiren müssen. Und wird schliesslich die freie Aussenwand der Scheitelzelle sehr schmal und bilden die beiden basalen Wände einen sehr spitzen Winkel mit-

einander, so kann auch Zerfällung durch eine pericline Wand stattzufinden haben, die Scheitelzelle also verschwinden müssen.

An wirklich vorkommenden Objecten werden wir diese Fälle weiter unten noch etwas eingehender zu erläutern haben.

In wie weit lassen sich nun die im pflanzlichen Zellgewebe vorkommenden Fälle der Segmentirungsfolge unter den gegebenen Verhältnissen der Wachsthumsvertheilung auf Grundlage der Forderungen des Princips der kleinsten Flächen ableiten?

Die Fächerung einfacher oder verzweigter Fadenformen, mögen sie allein Spitzenwachsthum besitzen, oder auch mehr oder weniger ausgiebig sich intercalar strecken, entspricht in den meisten Fällen den Anforderungen der Theorie, so bei den Pilzmycelien, bei den meisten Fadenalgen, wie Cladophora, den Chaetophoreen, Spirogyra und anderen Conjugaten, bei Ectocarpus; ferner die Fächerung der Scheitelzelle bei Stypocaulon, Cladostephus, den Callithamnien u. s. w. Aber schon bei den Polysiphonien und Ceramien und in vielen anderen Fällen werden bei der Segmentation der Scheitelzelle die abgeschnittenen Segmente so niedrig, bei relativ grossem Durchmesser, dass dem aufgestellten Princip zufolge eine ganz andere Segmentirungsfolge hier Platz greifen müsste. Bei der auf Taf. V, Fig. 8 abgebildeten Polysiphonia würde unter der unbedingten Herrschaft dieses Princips die Segmentirung ohne Zweifel durch Abschneidung von Ecken an der Basis der Scheitelzelle erfolgen müssen.

Bei der Verfolgung des Wachsthums scheibenförmiger Pflanzenkörper und Organe ergeben sich von vornherein mancherlei Umstände, welche den Entscheid, ob die Segmentirungsverhältnisse hier den Anforderungen der Theorie entsprechend erfolgen oder nicht, erschweren. Besonders ist es hier zunächst die Schwierigkeit, genau die thatsächliche Vertheilung des Wachsthums nach den verschiedenen Richtungen zu bestimmen. Wir haben oben rein theoretisch untersucht, wie die Segmentirung erfolgen muss, wenn die Wachsthumsintensitäten sowohl in radialer wie in tangentialer Richtung an der ganzen Oberfläche gleich sind, unter der weiteren Voraussetzung, dass das Wachsthum nur am Rande statthat.

Vergleichen wir mit dem so sich ergebenden, und auf Taf. V, Fig. 7 dargestellten Zellnetze nun die Zellnetze, wie wir sie in möglichst regelmässig entwickelten scheibenförmigen Thallomen und Organen, etwa in einer Chaetopeltis, entwickelt finden, so ergeben sich mancherlei Differenzen.

So bilden sich zwar bei möglichst regelmässig gewachsenen Exemplaren von Chaetopeltis die Octantenwände ziemlich regelmässig den

Anforderungen des Princips entsprechend aus, aber schon bei der weiteren Halbirung tritt auch in der dem Raume B von Fig. 7, Taf. V entsprechenden Randzelle nicht selten sofort eine Pericline, statt der seitlich sich ansetzenden Radialwand auf. Es dürfte das z. Th. darauf beruhen, dass die von uns oben gemachten Voraussetzungen nicht zutreffen. Es ist wahrscheinlich, dass die beiden aus einem Quadranten entstandenen Octantenzellen in gleichen Zeiten auch im allgemeinen gleich stark an Volumen zunehmen werden. Soll das aber der Fall sein unter Erhaltung des kreisförmigen Umrisses, so kann in dem Raume B das tangentiale Randwachsthum nicht ein so intensives sein, wie im Raume A, die Octantenwand muss sich daher beim Wachsthum auch seitlich verschieben, der freie Rand von A muss nach der Verdopplung breiter sein, als wir oben gefunden hatten, der von B aber dementsprechend schmaler. Die Folge davon wird sein, dass im Raume A die pericline Halbirungswand dem Centrum näher rückt, als wir früher gefunden, und dass unter Umständen auch in B schon die erste Theilung ohne zu grossen Widerspruch gegen das Princip in pericliner Richtung erfolgen kann, wie das in der That gar nicht selten vorkommt (vergl. Taf. V, Fig. 15 b).

Dazu kommt, dass auch bei diesem Object, trotzdem es einseitig dem Substrat aufgewachsen ist, in den Randpartien auch intercalares Wachsthum und damit verbundene weitere Verschiebung der einmal gebildeten Theilwände wohl nie ganz fehlen dürften.

Vergleicht man übrigens mehrere Exemplare von Chaetopeltis, so ergibt sich, dass im Verlauf der Fächerung bei diesem Object mancherlei Abweichungen häufig vorkommen.

An einzelnen Theilen des Umfangs ist das Wachsthum oft bedeutend stärker als an den übrigen, ohne dass sich immer ein besonderer Grund dafür auffinden liesse. Die Theilung ist oft eine Ungleichtheilung, statt einer Halbirung, nicht selten theilt sich eine Randzelle der Quere, statt der Länge nach, oder es wird dem Princip zuwider eine Kante abgeschnitten, oder es durchsetzt schliesslich auch hier eine Theilwand die Zelle in schräger Richtung, statt sich beiderseits rechtwinklig anzusetzen. Vielfach fand ich auch, dass schon die erste Theilung in einem Quadranten durch eine pericline Wand erfolgt war, wie Taf. V, Fig. 15 a zeigt.

Solche Abweichungen fehlen aber auch bei anderen Objecten nicht, sie beweisen, dass für die Theilungsrichtungen nicht selten auch Zufälligkeiten mitbestimmend werden. Sieht man aber von diesen, immerhin doch verhältnissmässig selteneren Abweichungen ab, so lässt sich als Regel feststellen, dass bei der Ausbildung des Zellnetzes von Chaetopeltis Theilungsfolge und Theilungsrichtungen in schönster Uebereinstimmung mit den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen stehen.

Wie weit das auch für andere Zellscheiben mit wesentlich peripherischem Wachsthum der Fall ist, bedürfte eingehenderer Untersuchungen unter genauer Berücksichtigung der Vertheilung der Wachsthumsintensitäten am Rande, die zur Zeit nicht vorliegen. Es genügt aber hier auf das schon von Sachs[1]) abgebildete Zellnetz in dem Haarköpfchen von Pinguicula hinzuweisen, um zu zeigen, dass Fälle, die sehr beträchtlich zu den Forderungen des Princips in Widerspruch treten, nicht fehlen.

Auch hinsichtlich der Fächerung scheibenförmiger Thallome und Organe mit ungleich intensiv wachsenden Randpartien ergeben sich entsprechende Resultate. So sahen wir schon oben, dass die Randzellen bei Haliseris, Taonia, Zonaria parvula, in Farnblättern eine relativ bedeutende Länge besitzen, während sie umgekehrt bei Aglaozonia reptans sehr kurz sind. Andere die Zellsymmetrie bei der Theilung beeinflussende Factoren drängen also in diesen Fällen die Forderungen des Princips zurück, zu Gunsten der Theilungen in der Längsrichtung, oder auch der Quere nach, wie bei Aglaozonia. Sehen wir aber davon ab, so entspricht auch hier die Segmentirungsfolge im übrigen durchaus seinen Anforderungen. Sobald die Randzellen eine bestimmte Länge oder Breite überschreiten, treten Quer- oder Längswände auf.

An den Scheiteln von Dictyota und Delesseria findet Entsprechendes statt, wie bei Polysiphonien und Ceramien. Die entstehenden Segmente sind bei grosser Breite von sehr geringer Höhe und darum mit den Anforderungen des Princips nicht in Uebereinstimmung, ganz abgesehen von dem schon früher besprochenen schiefwinkligen Ansatz der neu auftretenden Segmentwände. Die weitere Zerfällung der Segmente erfolgt bei Delesseria zunächst entsprechend den Forderungen des Princips, in den Segmenten von Dictyota, ebenso auch von Haliseris, Taonia u.s.w. kommt dasselbe aber nicht durchgängig zur Geltung, es treten zahlreiche Abweichungen und Zufälligkeiten auf, auf welche näher einzugehen indessen nicht erforderlich sein wird.

Bei der Segmentirung der Scheitelzellen der Farnprothallien und der jüngsten Segmente derselben zeigt sich wieder die Begünstigung der Theilungen in anticliner Richtung auf Grund besonderer Verhältnisse der Zellsymmetrie. In den weiter zurückliegenden Partien des Randes scheinen diese besonderen Ursachen zu schwinden und hier stimmen dann die auftretenden Theilungsrichtungen im allgemeinen mit den Forderungen des Princips überein, wie besonders ein Einblick in die sorgfältigen Abbildungen von Kny[2]) und Bauke[3]) zeigt.

---

1) Arb. d. Würzburger Instituts. Bd. 2. S. 68. Fig. 2C.
2) Nova Acta. Bd. 37 und Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 8.
3) Beilage zur botan. Zeitung. Jahrgang 1880.

Von grossem Interesse sind besonders die jungen Farnprothallien vor der Ausbildung einer Scheitelzelle dadurch, dass in ihnen die Vertheilung der Wachsthumsintensität in so mannigfaltiger und unregelmässiger Weise wechselt, dementsprechend auch die entstehenden Zellnetze äusserst variiren. Trotzdem entsprechen aber Theilungsrichtungen und Theilungsfolge den Anforderungen des Princips der kleinsten Flächen aufs schönste. Wir geben auf Taf. IV, Fig. 14a—g einige Copien nach Bauke's sorgfältigen Zeichnungen. Eine eingehende Durchmusterung derselben wird die Richtigkeit des Gesagten ohne weiteres zeigen (vergl. auch die Tafelerklärung).

Was die Fächerung kugelförmiger wachsender Plasmamassen durch Zellwände anbetrifft, so gelten in Bezug auf die Uebereinstimmung zwischen der Wirklichkeit und den Forderungen der Theorie hier wieder die Ausführungen, welche oben bei der Behandlung scheibenförmiger Thallome gemacht wurden. Die Voraussetzung des gleichmässigen Wachsthums in tangentialer Richtung an der ganzen Oberfläche dürfte in der Natur wohl nie erfüllt sein, und es ist auch ferner nicht zu bezweifeln, dass das Wachsthum solcher Körper niemals ein rein peripherisches ist. Die sichere Entscheidung über die betreffenden Fragen unterliegt darum hier ganz besonderen Schwierigkeiten, die sich nur würden überwinden lassen, wenn ein Object gegeben wäre, das, von allen Seiten der Untersuchung zugänglich, während seiner allmählichen Entwicklung und Fächerung unter dem Mikroskop studirt werden könnte.

Die in der Literatur vorliegenden Abbildungen können im allgemeinen nach dieser Richtung sicher Entscheidendes nicht bieten. Indessen dürften doch z. B. die sorgfältigen Abbildungen, die Kienitz-Gerloff[1]) von jungen Lebermoossporogonien, von den Embryonen von Polypodiaceen, sowie von jungen Embryonen von Isoëtes gegeben hat, den Schluss gestatten, dass bei diesen Objecten im wesentlichen die Fächerung nach Richtung und Ausbildungsfolge den Forderungen des Princips entspricht. Es ist aber gewiss nicht zu bezweifeln, dass eingehendere Untersuchungen das Vorkommen zufälliger Abweichungen auch hier constatiren werden.

Ebenso scheint auch die Fächerung mancher junger Phanerogamen Embryonen nach Hanstein's[2]) und Hegelmaier's[3]) Figuren in dem Princip im wesentlichen entsprechender Weise zu erfolgen.

So z. B. bei Brachypodium (Hanstein, Taf. 15), so ferner bei den Embryonen von Helleborus, Corydalis, Hypecoum, Chelidonium, Petroselinum, Carum Bulbocastanum, Tropaeolum nach Hegelmaier's Ab-

1) Botan. Zeitung 1874. Taf. III. 1878, I—III. 1881, VIII.

2) Botan. Abhandlungen. Bd. 1. Heft. 1.

3) Vergleichende Untersuchungen ü. d. Entw. der Dicotylen-Keimlinge. Stuttgart 1878.

bildungen auf den Tafeln 2—9. Besonders zu erwähnen ist hier aber noch der von Koch[1]) dargestellte Embryo von Orobanche, der schon von Sachs[2]) auf Seite 72 seiner Abhandlung reproducirt worden ist.

Andererseits zeigen sich aber gerade bei diesen Objecten in vielen Fällen sehr bedeutsame Abweichungen von den Forderungen des Princips darin, dass viel zu frühzeitig pericline Theilwände auftreten, durch welche das Dermatogen der Keimlinge differenzirt wird. So bei Capsella, Oenothera, Nicotiana, Alisma nach Hanstein, bei Geranium pratense nach Hegelmaier.

Aus der Zahl der hierher gehörigen Objecte, bei denen die Wachsthumsintensität an den verschiedenen Stellen eine wesentlich verschiedene ist, sind von besonderem Interesse zunächst die jungen Moossporogonien, deren Entwicklung so eingehend von Kienitz-Gerloff dargelegt worden ist. Soweit ich sehe, stimmt bei ihnen die Fächerung durchaus mit den Anforderungen des Princips überein. Besonders ist auch das Auftreten der keilförmigen Scheitelzelle an der Spitze derselben bei der herrschenden Wachsthumsvertheilung in ihnen als unmittelbares Ergebniss der Forderungen des Princips der kleinsten Flächen zu betrachten. Es möge hier nur auf die von Kienitz[3]) auf den Tafeln 1—3 gegebenen Abbildungen von Phascum, Ceratodon, Barbula, Atrichum kurz hingewiesen werden. Wir geben ferner in Fig. 14a, Taf. V eine Copie des Scheitels von Archidium phascoides nach der neueren Publication desselben Forschers, die sich ebenso verhält.

Auch die Embryoentwicklung von Andreaea schliesst sich nach Kühn's[4]) Darstellung hier durchaus an.

Kienitz-Gerloff hat in seiner letzterwähnten Arbeit im Anschluss an Hofmeister[5]) auch schon darauf hingewiesen, dass in der Scheitelzelle der Laubmoosembryonen die jedesmalige Theilwand immer senkrecht steht zur grössten Längsausdehnung der Zelle.

Soweit sich das entscheiden lässt, scheinen in allen diesen Fällen die Scheitelzellen sich bei jeder Theilung zu halbiren.

Das trifft nun aber nicht mehr zu für den Scheitel von Salvinia natans, wie aus Pringsheim's[6]) sorgfältigen Abbildungen hervorgeht (vergl. auch die Reproduction auf Taf. VI, Fig. 2). Aus den letzteren lässt sich aber mit ziemlicher Sicherheit schliessen, dass auch hier die Ausbildung der vorhandenen Scheitelzelle, sowie ihre Segmentirungsfolge unter der Voraussetzung der Herrschaft des Princips der kleinsten

1) Pringsh. Jahrbücher. Bd. 11. 1878.
2) Arbeit. d. Würzb. Instituts. Bd. 2.
3) Botan. Zeitung 1878.
4) Schenk und Lürssen, Mitth. a. d. Botanik. Bd. 1.
5) Lehre von der Pflanzenzelle. S. 130.
6) Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 3. 1863.

Flächen ein directes Ergebniss der Form der Scheitelkuppe, sowie des Wachsthumsverlaufs in ihr ist. Auch wenn die Grösse des Segments hier noch wesentlich kleiner ausfiele, so würde doch bis zu einer gewissen Grenze der Segmentirungsmodus durchaus derselbe bleiben. Entsprechendes gilt auch für die Scheitel der oben besprochenen Mooseembryonen.

Wie schon früher näher dargelegt, stehen aber die ersten Theilungen in den Segmenten bei Salvinia mit den Forderungen des Princips nicht im Einklang.

Nach Pfeffer's[1]) Darstellung und Abbildungen zu schliessen, scheinen mir auch die Segmentirungsvorgänge am Scheitel von Selaginella im wesentlichen den theoretischen Anforderungen zu entsprechen. So besonders auch die Zerfällung der Segmente am ganz jungen Embryo, wie sie von Pfeffer auf Taf. III, Fig. 1, 2, 3 dargestellt ist, ferner die der Segmente älterer Sprosse, wenn man beachtet, dass die Theilungen ungleiche Hälften liefern (a. a. O. Taf. VI, Fig. 2 und 3). Auch die eigenthümliche Umwandlung, welche die zweischneidige Scheitelzelle des jungen Embryo erfährt, und infolge welcher dieselbe in eine vierseitige keilförmige übergeht (Taf. III, 1, 2, 3, 7; IV, 2, 3), dürfte ebenfalls in Uebereinstimmung mit den Forderungen des Princips erfolgen.

Wesentlich schwieriger wird der Entscheid, ob die in der Natur vorkommende Segmentirungsfolge mit den Forderungen des Princips übereinstimmt, noch für die Vegetationspunkte der Farne, Equisetaceen und Moose, bei denen wir eine dreiseitige, tetraëdrische Scheitelzelle vorfinden.

Dass bei der Segmentirung bei diesen Objecten die Scheitelzelle sich keineswegs immer halbirt, geht aus den Angaben Klein's[2]) hervor, der neuerdings ausdrücklich hervorhebt, dass an den Farnscheiteln das eben gebildete Segment durchschnittlich doppelt so gross ist, wie die Scheitelzelle. Für die Entscheidung der Frage nach den die Segmentirungsfolge beherrschenden Gesetzen ist ja aber dieser Umstand von ganz nebensächlicher Bedeutung. Massgebend sind hier die Form der Scheitelzelle, sowie die Vertheilung des Wachsthums in ihr nach den verschiedenen Richtungen des Raumes.

Wir haben oben rein theoretisch gezeigt, dass unter bestimmten Voraussetzungen in dieser Hinsicht eine dreiseitige tetraëdrische Scheitelzelle nothwendig zur Ausbildung kommen muss, und die für eine Reihe von Farnscheiteln vorliegenden Abbildungen sprechen in der That durchaus dafür, dass bei ihnen das Zellnetz am Scheitel wesentlich unter dem Einfluss des Princips der kleinsten Flächen sich aufbaut.

---

1) Hanstein's botan. Abhandlungen. Bd. 1.

2) Botan. Zeitung 1884. S. 626.

Ob dabei auch rechtwinklig Schneidung statthat, bedürfte eingehenderer, näherer Untersuchung. Für Equisetum scheint das wenigstens nicht zuzutreffen, wenn die Abbildungen von Sadebeck[1]) in dieser Hinsicht wirklich naturgetreu sind, was mir nach der Untersuchung einiger conservirter Scheitel von Equisetum arvense jedoch der Fall zu sein scheint. Die Scheitelzelle ist danach hier, ähnlich wie bei den Farnprothallien, bei Metzgeria u. s. w., aber nicht ganz so auffallend, stärker in die Länge gezogen und also schärfer zugespitzt, als es das Princip erlauben würde.

Für die Scheitel der Wurzeln dieser Formen gilt dasselbe. Soweit nach dem vorliegenden Material ein Urtheil möglich, ist auch hier das Auftreten einer Scheitelzelle überhaupt, sowie die Segmentirungsfolge derselben bei der Grösse der betreffenden Zellen und der thatsächlichen Vertheilung des Wachsthums am Scheitel wesentlich auf Grundlage des Princips der kleinsten Flächen ableitbar.

Die weitere Zerfällung der Segmente dürfte in vielen Fällen in Uebereinstimmung mit den Forderungen des Princips erfolgen, so in den Farn- und Equisetumwurzeln, ebenso wie auch in den Segmenten von Selaginella, wie schon oben erwähnt. Sie widerspricht ihm aber jedenfalls wieder im Stamm von Equisetum, wo jedes Segment zunächst durch eine seinen Flächen parallele Wand in zwei übereinanderliegende Tafeln zerfällt, die sich erst weiterhin in den Forderungen des Princips entsprechender Weise fächern.

Die vorliegenden Thatsachen lassen die Annahme hinreichend begründet erscheinen, dass der Neuausbildung sowie dem Verschwinden von Scheitelzellen auch in diesen Fällen entsprechende Aenderungen in der Wachsthumsvertheilung der betreffenden Partien zu Grunde liegen. Ganz sicher ist das nach den vorliegenden Untersuchungen von Kienitz-Gerloff schon für die Scheitel der Laubmoosembryonen, bei denen später die Scheitelzelle verschwindet. Aus den von Kienitz gegebenen Abbildungen geht hervor, dass die relative Intensität des tangentialen Wachsthums in der Scheitelzelle zuletzt abnimmt, dass infolge davon ihre Länge übermässig steigt. Damit ist das schliessliche Auftreten einer periclinen Theilwand motivirt und weiterhin ihre vollständige Ausfüllung mit einem Zellnetz, wie es die Abbildungen dieses Forschers, sowie unsere Copie auf Taf. V, Fig. 14b zeigen.

Dass umgekehrt bei Selaginella die Ausbildung einer neuen Scheitelzelle in einem Segment durch die Steigerung des tangentialen Wachsthums in derselben eingeleitet wird, geht aus Pfeffer's Abbildungen sicher hervor, und die sonst in der Literatur vorliegenden Angaben lassen die entsprechenden Voraussetzungen überall da begründet er-

1) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 11. 1878. Taf. 35 und 37.

scheinen, wo bei Moosen, Farnen, Equisetaceen neue Stamm- oder Wurzelscheitelzellen angelegt werden. Ohne eingehendere, ad hoc angestellte Detailuntersuchungen nach dem Vorhergehenden und den früheren theoretischen Erörterungen hier aber noch auf eine eingehendere Besprechung von Einzelfällen einzugehen, wäre ohne Interesse.

Auch die eigenthümliche Fächerung, welche die jungen Farnsporangien bei ihrer Entwicklung zeigen, und bei der es bekanntlich kurze Zeit zur Ausbildung einer tetraëdrischen Scheitelzelle kommt, dürfte wesentlich, vielleicht vollständig in Uebereinstimmung mit dem Princip und durch den Wechsel der Form, sowie der Wachsthumsvertheilung in den jungen Anlagen bedingt sein. Es bedürfte aber auch hier besonderer eingehender Detailuntersuchungen und Messungen, um das sicher zu entscheiden. Da aber auch diesem Falle nach allem Vorhergehenden eine principielle Bedeutung nicht zukommt, so können wir uns auch hier damit begnügen, auf die eingehenden diesbezüglichen Untersuchungen von Rees[1]) und die von demselben gegebenen anschaulichen Abbildungen zu verweisen. Besonders wird man aus den von Rees auf Taf. 20, Fig. 5A und B gegebenen schematischen Figuren ersehen, dass für die Richtung und Krümmung der Zellwände bei der Zerklüftung der tetraëdrischen Centralzelle des Sporangiums im wesentlichen ohne Zweifel die Forderungen des Princips der kleinsten Flächen massgebend sind. Dagegen theilen sich wieder, wie ohne weiteres ersichtlich, die von ihr nach aussen zuerst gebildeten Tapetenzellen dem Princip entgegen zunächst durch eine pericline Halbirungswand.

Zuletzt mag hier auch noch ein anderer bemerkenswerther Specialfall kurz besprochen werden, der uns durch Strasburger[2]) näher bekannt geworden ist. Es sind das die Antheridien von Pteris serrulata mit ihrem eigenthümlichen Fächerungsmodus.

In der einzelligen jungen Anlage des Antheridiums, welche etwa die Form eines über die Halbkugel hinausgehenden Kugelsegments besitzt, wird zunächst in sonderbarer Weise eine ringförmige Zelle gebildet durch eine Membran 11, welche sich schräg von der Basis zur Seitenwand erstreckt, wie es die nach Strasburger copirte Figur 4b auf Taf. VI zeigt. Form und Lage dieser Membran sind unter den obwaltenden Verhältnissen mit den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen im wesentlichen in Uebereinstimmung. Man kann in einem cylindrischen Gefäss leicht eine Seifenlamelle erzeugen, die sich entsprechend verhält. Die zweite Theilwand 22 (Fig. 4c) ist dann eine Pericline, deren Lage zwar ebenfalls eine verhältnissmässig ungünstige ist, die aber ihrer Form nach bei passend gewählten Grössenverhält-

1) Pringsheim's Jahrb. Bd. V. Taf. 20—22.
2) Ebenda Bd. VII. S. 393. Taf. 25, Figg. 1 und 2.

nissen mit flüssigen Lamellen ebenfalls leicht nachgeahmt werden kann. Dasselbe gilt dann schliesslich auch für die Theilwand 33 (Fig. 4 d), welche die Form eines sich an die Aussenwand und an die Wand 22 ansetzenden cylindrischen Ringes besitzt.

Vor einigen Jahren hat Sachs[1]) in zwei berühmt gewordenen Abhandlungen versucht, das durch die entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen zusammengebrachte, ausserordentlich mannigfaltige und allmählich unübersehbar gewordene Thatsachenmaterial betreffs der Ausbildung des pflanzlichen Zellnetzes unter umfassende Gesichtspunkte zu bringen, ein allgemeines Princip ausfindig zu machen, welches gestatten sollte, für Organe mit bestimmten Umrissformen und bestimmter Wachsthumsvertheilung innerhalb derselben, das zur Ausbildung gelangende Zellnetz a priori zu construiren. Als solches Princip ist von Sachs das der rechtwinkligen Schneidung aufgestellt worden. Er zeigte, dass man auf Grundlage desselben in rein schematischer, geometrischer Weise Bilder construiren könne, welche mit den in Wirklichkeit vorkommenden Zellnetzen zweifelsohne eine mehr als rein äusserliche Aehnlichkeit besitzen.

Wie aus unseren vorstehenden Ausführungen hervorgeht, legte Sachs bei der Aufstellung seines Princips in der That wesentliches Gewicht auf einen Umstand, der sich in der Mehrzahl der Fälle für die Orientirung der Zellwände als von massgebender Bedeutung erweist. Bei der grossen Zahl der vorkommenden Ausnahmen konnte aber schon lange kein Zweifel mehr darüber bestehen, dass in diesem Princip nur eine mehr oder weniger allgemein gültige Regel, kein Gesetz aufgefunden sei. Die Erklärung dafür geben unsere hier gegebenen Ausführungen. Dieselben zeigen, dass das allgemeine Princip, welches für die Orientirung der Zellwände in erster Linie, wenn auch keineswegs ausschliesslich, massgebend ist, nur in Specialfällen, die allerdings die gewöhnlich meist vorkommenden sind, die rechtwinklige Schneidung der Wände verlangt.

Das von Sachs aufgestellte Princip gestattet darum, eine grosse Reihe von Thatsachen unter allgemeinen Gesichtspunkten zusammenzufassen, aber es löst das Problem der Fächerung des Pflanzenkörpers nicht, da es zu wenig besagt. Kommt es nur auf die rechtwinklige Schneidung an, so kann im Einzelfalle sowohl durch eine Querwand, wie durch eine Längs- oder Sextantenwand u. s. w., den Anforderungen Genüge geleistet werden. Es ist ferner dabei die Reihen-

1) Arbeit. d. Würzburg. Instituts. 2. Bd. S. 46 ff. u. 185 ff.

folge, in welcher die Fächerung eines bestimmten Raumes durch Zellwände sich vollzieht, unbestimmt und willkürlich. Sachs hat das in seinen Ausführungen auch ausdrücklich ausgesprochen. Und doch ist die Folge der Theilungsrichtungen für jedes Object eine im wesentlichen durchaus bestimmte. Dafür erhalten wir eine ausreichende Begründung erst durch die Erkenntniss, dass es nicht auf die rechtwinklige Schneidung allein oder überhaupt ankomme, sondern darauf, dass, soweit es andere für die Theilungsrichtung ebenfalls massgebende Factoren gestatten, die Trennungslamelle zu einer Fläche minimae areae werde.

Mit der Auffindung dieses allgemeinen Princips hat aber die Kenntniss der thatsächlichen Vorgänge der Segmentirungsfolge, der allmählichen Entwicklung des Zellnetzes im pflanzlichen Organismus, auf deren Studium Jahrzehnte hindurch soviel Arbeit und Nachdenken verwandt worden ist, ihre Bedeutung keineswegs verloren. Ganz abgesehen davon, dass das Princip, wie wir sahen, für den Aufbau des Zellnetzes gar nicht allein den Ausschlag gibt, sondern dass es vielfach durch andere Factoren zurückgedrängt wird, so gibt uns gerade in den Fällen, wo es allein herrscht, die festgestellte Segmentirungsfolge sofort eingehende Aufschlüsse über die Wachsthumsvertheilung in den betreffenden Organen und Thallomen, die, wie eine Fülle von Thatsachen bewiesen haben, für dieselben meist in hohem Grade charakteristisch und constant sind.

Das Sachs'sche Princip der rechtwinkligen Schneidung erweist sich aber als unzutreffend, in allen den Fällen, wo Zellen simultan in mehr als zwei Theile zerfallen. Es ist bekannt, dass bei der simultanen Viertheilung der Pollen- und Sporenmutterzellen von annähernd kugliger Gestalt die Theilzellen tetraëdrische Lage zueinander einnehmen, es hat ferner Strasburger[1]) neuerdings ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei der simultanen Vielzellbildung im Wandbeleg der Embryosäcke die einzelnen Zellen sich sofort polygonal gegeneinander abgrenzen. Beide Thatsachen, unvereinbar mit dem Princip der rechtwinkligen Schneidung, sind die nothwendige Folge des Princips der kleinsten Flächen.

Wir hatten bei unseren bisherigen Ausführungen in diesem Kapitel immer vorausgesetzt, dass nur eine flüssige Lamelle innerhalb festumgrenzter Räume von bestimmter Gestalt auftrete und hatten unter dieser Voraussetzung ihre Lage und Form zu bestimmen gesucht. Wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn ganze Systeme flüssiger Lamellen gegeben sind, ist jedem oberflächlich aus der eignen Anschauung von Schaummassen geläufig. Das die Anordnung und Form der Lamellen

1) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. Jena 1880. Zellhäute. Jena 1882.

beherrschende Princip ist auch in diesem Falle wieder das der kleinsten Flächen, die Lamellen ordnen sich so an, dass bei dem gegebenen Volumen der einzelnen Blasen die Summe aller Oberflächen ein Minimum wird.[1]) Es hat nun Lamarle[2]) in eingehender Weise mit mathematischer Begründung gezeigt, dass diesem Princip zufolge die Anordnung der Lamellen immer sich so gestalten muss, dass längs einer gemeinsamen Kante nie mehr als drei Lamellen zusammentreffen und zwar unter gleichen Winkeln von 120°, und dass sich ferner in einem Punkte nur vier Lamellen treffen können und zwar ebenfalls unter gleichen Neigungswinkeln von 109° 28′ 16″.

Es ist leicht, sich davon zu überzeugen, dass in Schaumgeweben diese Bedingungen eingehalten werden und dass jede in der Schaummasse eintretende Veränderung, Vergrösserung oder Verkleinerung einer Blase, Verschwinden einer solchen u. s. w. mehr oder weniger weitgehende Umlagerungen und Verschiebungen in ihr zur Folge hat, bis schliesslich die Anordnung wieder den theoretischen Anforderungen entspricht.

Für den Specialfall der Viertheilung eines kugelförmigen Raumes verlangt nun das Princip, dass die theilenden Lamellen in der Zahl von 6 vier congruente Räume umgrenzen, die sich in tetraëdrischer Lage zueinander befinden und im Centrum der Kugel in einem Punkte zusammenstossen. Bei der Viertheilung kugliger Pollen- und Sporenmutterzellen hat das bekanntlich auch statt.

In Räumen, welche aber nicht genau Kugelform besitzen, sondern mehr gestreckt oder plattgedrückt sind, wird die Lage der dem Princip entsprechenden Lamellen eine wesentlich andere. Schöne Beispiele dafür finden wir in den Pollenmutterzellen von Neottia nidus avis, deren mit dem Wechsel der äusseren Form wechselnde Theilungsweise Göbel[3]) beschrieben hat. Die hier auf Taf. VI, Fig. 1 wiedergegebenen Copien nach Göbel's Abbildungen zeigen, dass die Theilungen durchaus so erfolgen, wie es das Princip der kleinsten Flächen fordert.

Die simultane Vieltheilung im Wandbeleg der Embryosäcke vollzieht sich im allgemeinen in der Weise, dass sich an der ganzen Oberfläche zunächst nur eine einzige Schicht zusammenhängender Zellen bildet, während in seltneren Fällen dieser Beleg von Zellen sogleich — meist nur stellenweise — mehrschichtig wird, und nur in einem Falle nach den bisher bekannt gewordenen Thatsachen, bei Eranthis, sich sofort die ganze Höhlung mit einem Zellgewebe ausfüllt.

Wenn die Zellen in einfacher Schicht an der Peripherie sich bil-

1) Plateau, Statique des liquides. Gand und Leipzig 1873.

2) Sur la stabilité des systèmes liquides en lames minces. Mém. de l'Acad. de Belgique. Tom. 35, 36.

3) Arbeit. d. Würzb. Instituts. Bd. 2. S. 441.

den, so müssen sie, wenn die auftretenden Grenzlamellen sich den Anforderungen des Princips der kleinsten Flächen entsprechend anordnen, sich ebenso wie eine einfache Schicht von Seifenblasen in polygonaler Weise gegeneinander abgrenzen. Dass das in der That der Fall ist, geht aus den Angaben Strasburger's hervor. Bei Eranthis aber und in den Fällen, wo stellenweise mehrere Zellschichten simultan entstehen, müssen die Zellterritorien polyedrische Formen annehmen, wie die Blasen im Seifenschaum, und sich den Gesetzen des Schaumgewebes entsprechend anordnen, was ebenfalls zutrifft.

Die vorstehenden Ausführungen ergeben also, dass das Princip der kleinsten Flächen rechtwinklige Schneidung nur dann verlangt, wenn sich die auftretenden Lamellen festen Wänden ansetzen müssen, wie das allgemein bei der Zweitheilung pflanzlicher Zellen der Fall ist.

Das auf diese Weise durch succedane Zweitheilung im Organismus zur Ausbildung kommende Zellnetz ist nun aber kein definitives. Wenn auch jede einzelne Wand im Augenblick ihrer Bildung die Richtung und Krümmung angenommen hätte, welche den Forderungen des Princips der kleinsten Flächen entspricht, so entspricht doch das entstandene Zellnetz in seiner Gesammtheit den Anforderungen dieses in keiner Weise. Soll das der Fall sein, so müssen sich die einzelnen Zellräume nachträglich in der Weise gegeneinander verschieben und umgestalten, wie es die Lamellen in einem Schaumgewebe thun. Das findet aber in der That in mehr oder weniger umfangreichem Masse immer statt und bleibt nur dann aus, wenn Zellen mit beträchtlich verdickten Membranen sich nachträglich fächern. In der Regel sind aber in Meristemen die Zellen zartwandig und die aus der Herrschaft des Princips der kleinsten Flächen sich ergebenden Umlagerungstendenzen führen darum sofort jene Brechungen der Zellwände und Verschiebungen ihrer Ansatzstellen herbei, die jedem Botaniker, der sich mit entwickelungsgeschichtlichen Studien beschäftigte, wohlbekannt sind. Diese Wandbrechungen und Verschiebungen werden sehr wesentlich dadurch gefördert, dass fast allgemein in den betreffenden Zellcomplexen nachträglich mehr oder minder ausgiebige Volumzunahme durch Wachsthum statthat. So gewinnt denn das definitive Zellnetz trotz seiner succedanen Ausbildungsweise die frappante Aehnlichkeit mit einem Schaumgewebe, die sich so vielfach in unwillkürlichen Bemerkungen der Autoren wiedergespiegelt hat.

Drei längs einer Kante zusammentreffende Zellwände suchen also wie die Lamellen eines Schaumgewebes gleiche Winkel von 120° mit einander zu bilden und man sucht darum in allen Geweben, die nicht

mehr in Theilung begriffen sind, vergeblich nach rechtwinklig sich schneidenden Zellwänden.

Natürlich treten dieselben Wandbrechungen auch in den Fällen auf, wo der primäre Ansatz der neuen Membranlamelle ein schiefwinkliger ist. Das zeigt z. B. die in Fig. 3, Taf. VI genau nach dem Leben angefertigte Scheitelpartie von Delesseria und ebenso auch die Scheitel von Farnprothallien (Taf. V, Fig. 16), Metzgeria u. s. w.

Wenn im meristematischen Gewebe vier Zellwände längs einer Kante zusammentreffen, was oft beobachtet werden kann, wenn die Theilwände zweier benachbarter Zellen sich genau an derselben Stelle der gemeinsamen Trennungswand angesetzt haben, so verschieben sie sich bald seitlich gegeneinander, und es tritt jenes Zwischenstück auf, dessen so oft Erwähnung geschieht, und welches wir in derselben Weise auch in bestimmten Pollenmutterzellen von Neottia (Taf. VI, Fig. 1, A, B, C) auftreten sehen.

Die Ausbildungen eines derartigen Zwischenstücks bei Seifenlamellen kann man sehr hübsch verfolgen, wenn es gelingt, für kurze Zeit vier Seifenblasen auf einer flachen Unterlage so anzuordnen, dass sich ihre vier Trennungslamellen längs einer Linie schneiden. (Vergl. auch Plateau, a. a. O. Bd. 1. § 180, Figg. 68 und 69.)

Eine nothwendige Folge des vorliegenden Princips ist es, dass an Vegetationspunkten in einer Schicht nebeneinander nie mehr als drei Scheitelzellen gleichzeitig vorhanden sein können. Es werden ja freilich oft auch vier angegeben, aber dann fehlt nie das kleine Zwischenstück zwischen den gemeinsamen Wänden, und es berühren sich darum nur zwei dieser Scheitelzellen direct und reichen bis an den Scheitel hinan, die beiden anderen sind durch das Zwischenstück voneinander getrennt.

Bei thierischen Objecten scheinen die auf Grundlage der Herrschaft des Princips der kleinsten Flächen erfolgenden Verschiebungen und Umlagerungen der Zellen, zweifelsohne infolge der mangelnden festen Cellulosewände, oft viel auffallender und weitgehender zu sein. So hat Rauber[1]) vor einigen Jahren auf die weitgehenden Verschiebungen der Blastomeren im sich furchenden Froschei näher aufmerksam gemacht. Bei einem näheren Einblick in die von Rauber gegebenen Figuren erkennt man sofort, dass es sich dabei um nichts anderes, als um die hier in Rede stehenden rein mechanischen Vorgänge handelt.

Im pflanzlichen Organismus wird freilich der Einfluss unseres Princips auf die Ausgestaltung des Zellnetzes aus mancherlei Gründen wesentlich eingeschränkt. Einmal besitzen die Zellmembranen auch in den Meristemen schon eine beträchtliche Festigkeit, die so weitgehende

1) Morpholog. Jahrbuch. Bd. 8. 1882. Taf. XII.

Umlagerungen, wie sie in Schaumgeweben vorkommen, nie zu Stande kommen lassen, dann dürfen auch die Differenzen in der Festigkeit und Plasticität der verschiedenaltrigen Zellwände nie ausser Acht gelassen werden. Es zeigen ferner die einzelnen Theile der Gewebe, sowie die Zellen selber beim weiteren Wachsthum sehr ungleiche Volumvergrösserung nach den einzelnen Richtungen des Raumes, die Zellen erleiden oft sehr beträchtliche einseitige Streckung. Daraus entstehen aber Zellformen und Gewebenetze, die den Anforderungen des Princips nur in sehr bedingter Weise entsprechen und die im Gewebe aus Seifenschaum sich sofort in fundamentalster Weise umgestalten müssten und würden. Dass das in dem mit derben Zellwänden versehenen pflanzlichen Gewebe nicht erwartet werden darf, liegt auf der Hand.

Dessenungeachtet sehen wir aber, dass in allen diesen Fällen das Princip dennoch dem Gewebe seinen eigenthümlichen Charakter in unverkennbarer Weise aufdrückt. So sehen wir, dass an den Stellen, wo drei nicht übermässig verdickte Membranen zusammentreffen, sie sich so wölben und krümmen, dass die in dem gemeinsamen Schnittpunkte an sie gelegten Tangenten gleiche Winkel miteinander bilden (Taf. VI, Fig. 5 u. 6). Die freien Aussenwände zeigen in derselben Weise überall die entsprechenden Einkerbungen dort, wo sich eine Membran innen an sie ansetzt.[1])

Auch im Zellgewebe wölbt sich, wie im Seifenschaum, die Trennungsmembran derjenigen Zelle zu, welche die grössere ist, was, wie Plateau schon gezeigt hat, sich als eine nothwendige Forderung des Princips der kleinsten Flächen ergibt. Freilich darf nicht vergessen werden, dass im pflanzlichen Zellgewebe der Turgor in den einzelnen Zellen nicht immer die gleiche Intensität besitzt. Eine stärker turgescirende Zelle wird darum ohne jede Rücksicht auf die Forderungen unseres Princips ihre Wände immer convex nach aussen vorwölben. Das sind indessen Ausnahmen, welche der allgemeineren Gültigkeit des vorliegenden Gesetzes auch im pflanzlichen Zellgewebe keinen Eintrag thun.

1) Nachträgl. Anmerk. Dass aber solche Verschiebungen in der That im pflanzlichen Zellgewebe während des Ueberganges aus dem meristematischen in den Dauerzustand in viel weitgehenderem Masse stattfinden, als man bisher wohl allgemein geglaubt hat, geht aus der nach Abschluss dieses Manuskripts erschienenen, interessanten Abhandlung von Krabbe „Ueber das gleitende Wachsthum bei der Gewebebildung der Gefässpflanzen. Berlin 1886“ hervor. Krabbe hat indessen nicht erkannt, dass diese Verschiebungen, soweit sie auf dem Querschnittsbild zur Anschauung kommen, sich aus der Herrschaft des Princips der kleinsten Flächen ableiten.

ACHTES KAPITEL.

Innere Wandskulpturen. Mechanik der Formbildung behäuteter Zellen.

Welche inneren und äusseren Bedingungen auch in Specialfällen für die Ausscheidung von Membransubstanz massgebend sein mögen, soviel ist sicher, dass schon geringe Differenzen, welche sich an ganzen Zellen, oder an den einzelnen Theilen von solchen in Bezug auf die quantitativen und qualitativen Verhältnisse der Membranentwicklung zeigen, auf entsprechende Differenzen im Plasmakörper der Zellen werden zurückzuführen sein. Unsere bisherigen Ergebnisse gestatten aber nicht im voraus über die Natur dieser nothwendig vorauszusetzenden Differenzen etwas auszusagen. Wir wissen nicht, welche Theile des Plasmakörpers für die Ausbildung der Membran massgebend sind, ob der gesammte Wandbeleg, oder nur die inneren, die mittleren, oder die ihr unmittelbar anliegenden Schichten, welch letzteres vielleicht das wahrscheinlichste sein dürfte. Wir können auch nicht im voraus sagen, ob die vorauszusetzenden Differenzen, die chemischer Natur sein müssen, derartige sind, dass sie auch in den unter dem Mikroskop erkennbaren Structurverhältnissen einen Ausdruck finden. Es würde also zunächst nichts gegen die Richtigkeit der theoretisch geforderten Annahme beweisen, wenn bei der mikroskopischen Untersuchung etwa den Differenzen in der Ausbildung der Membran entsprechende Ungleichmässigkeiten im Plasmakörper nicht nachweisbar sein sollten.

Wesentlich anders gestaltet sich freilich die Sache, wenn an den Zellmembranen scharf gezeichnete, mehr oder weniger nach innen vorspringende Skulpturen, Zapfen, Leisten, Tüpfelbildungen und dergleichen auftreten. Sind unsere bisherigen Ausführungen richtig, so können solche Skulpturen bei monocentrischem Bau des Zellplasmas, mögen in ihm auch sonst polare Symmetrieverhältnisse irgend welcher Art vorhanden sein, unmöglich gebildet werden. Nur in Plasmakörpern mit polycentrischer Symmetrie ist ihr Auftreten möglich.

Es folgt aus den vorstehenden Ausführungen, dass es sich bei der Frage, wie die Ausbildung, die Vertheilung und die Formverhältnisse der auf der Innenseite der Zellwand auftretenden Skulpturen mechanisch zu verstehen sind, um Specialprobleme der Symmetrie und der Formbildungsmechanik des Plasmakörpers der betreffenden Zellen handelt. Wir können uns damit, indem wir uns auf die im vierten Kapitel gegebenen allgemeinen und principiellen Erörterungen stützen, darum hier kürzer fassen. Ganz unberührt kann ferner die Frage bleiben, welche Umstände und Verhältnisse chemischer Natur die Ausscheidung der nach innen vorspringenden Cellulosemassen bedingen, und welche näheren Stoffwechselproducte es sind, aus denen sie hervorgehen. Denn das Wenige, was darüber vermuthungsweise dürfte gesagt werden können, wurde schon im vorstehenden Kapitel kurz zusammengestellt.

Diejenigen Fälle, in denen die zu besprechenden Vorsprungsbildungen eine wesentlich gleichmässige Vertheilung in dem Zelllumen zeigen, wie die Zellstoffbalken bei Caulerpa, im Embryosack von Pedicularis, in den Zellen, welche Drusen von Kalkoxalat, von einer Cellulosehülle eingeschlossen, suspendirt führen, geben zu einer näheren Erörterung keinen Anlass. Unter Hinweis auf das im vierten Kapitel Gesagte können wir auch die Fälle wesentlich gleichmässiger Vertheilung, wie sie die Leisten in den luftführenden Zellen der Sphagnumblätter, die Ringe und Spiralen in den entsprechend verdickten Gefässzellen, sowie weiterhin die Tüpfel in vielen parenchymatischen Zellen und in vielen einfach, treppenförmig, oder gehöft getüpfelten Gefässen zeigen, hier zunächst ohne weiteres übergehen.

Als wesentlich gleichmässig ergibt sich zunächst in der Flächenansicht auch die Vertheilung der inneren Vorsprünge in den Epidermiszellen so vieler Blumenblätter, sowie in den verdickten Zellen der Antherenwände, beide Fälle liefern aber dadurch Beispiele ausgesprochener polarer Zellsymmetrie in der darauf senkrecht stehenden Richtung, dass in den betreffenden Epidermiszellen Aussen- und Innenwand, in den betreffenden Zellen der Antheren die Aussenwände allein vollständig ohne Vorsprungsbildungen bleiben.

Monopolaren Bau der betreffenden Plasmakörper bekunden ferner die nur einseitig ausgebildeten Verdickungen in den Epidermiszellen, in den Zellen der Endodermis vieler monocotyler Wurzeln und Rhizome, vielfach in den peripherischen Zellen von Steinzellnestern und anderen Fällen mehr. Eine ausgeprägte monopolare Symmetrie beweist in den Cystolithenzellen auch die Anheftung des Cystolithen an die Seitenwand vermittelst eines einzigen dünnen, stielartigen Fortsatzes, sowie die entsprechende einseitige Anheftung der im ersten Kapitel näher besprochenen, mit ätherischem Oel erfüllten Säckchen der „einzelligen Drüsen".

Nach Molisch[1]) finden sich bei den Acanthaceen auch oft Cystolithen, die mit mehreren Stielen der Zellmembran angeheftet sind, die also in dieser Beziehung ein den Drusen der Oxalatzellen entsprechendes Verhalten zeigen, so bei Goldfussia isophylla, glomerata, Ruellia ochroleuca.

Nach den früher gemachten Ausführungen kann es auch nicht weiter mehr auffallen, wenn wir in den Collenchymzellen die Wände nur in den Ecken, wo drei Zellen zusammenstossen, verdickt finden. Ein entsprechendes Verhalten zeigen auch Treppen- und Tüpfelgefässe, indem auch sie in den Ecken zwar nicht stärker, aber gleichmässig verdickte Wände ohne Tüpfelung zeigen. Auch die ganz allgemein vorkommende Ausbildung verschiedener Verdickungs- und Zeichnungsformen an den verschiedenen Längswänden von Gefässzellen, je nachdem sie an andere Gefässe, oder an Parenchymzellen oder Holzfasern angrenzen, versteht sich durchaus nach jenen Ausführungen, die wir früher über die Bedeutung der verschiedenen Natur der umgebenden Medien für die Symmetrie des Plasmakörpers einer Zelle gemacht haben.

Es ist bekanntlich eine allgemein befolgte Regel, von welcher nur in bestimmten Fällen, die weiter unten näher zu besprechen sein werden, abgegangen wird, dass die verdickten und unverdickten Theile der gemeinsamen Wand zweier Zellen sich vollständig entsprechen. Wir werden auch darin einen Ausdruck der gegenseitigen Beeinflussung der beiden benachbarten Plasmakörper zu finden haben.

Schon Schacht[2]) hatte nachgewiesen, dass die das Zellinnere durchsetzenden Cellulosebalken von Caulerpa und im Embryosack von Pedicularis von entsprechend verlaufenden Plasmafäden gebildet werden. Die Untersuchungen von Schmitz[3]) und Strasburger[4]) haben das für Caulerpa bestätigt, ich selbst bin an beiden Objecten zu eben denselben Resultaten gekommen.

Es lässt sich auch leicht nachweisen, dass in den jungen Oxalatzellen die Zellstofffäden, welche von der Membran sich zur Drusenhülle erstrecken, in Plasmafäden gebildet werden. So fand ich ferner auch in den jungen Cystolithenzellen von Ficus elastica den jungen Stiel von Protoplasma umgeben und von hier gegen den Wandbeleg ein System von Plasmafäden verlaufend.

Einen polycentrisch-gerüstförmigen Bau zeigte mir der Plasmakörper

1) Oesterreich. botan. Zeitschr. 1882. S. 348.
2) Lehrb. d. Anat. u. Phys. d. Gew. 1856. Bd. 1. S. 37.
3) Bonner Sitzungsber. 6. Dec. 1880.
4) Zellhäute. S. 9.

in den jungen Drüsenzellen von Aristolochia clematitis, während er bei den anderen noch untersuchten und im ersten Kapitel näher besprochenen Formen (Acorus, Asarum, Magnolia, Laurus, Peperomia) einen schaumigen Bau zeigte. Der junge Harzsack war hier von einer mehr oder weniger massenhaften Plasmaansammlung umgeben, in der sich auch oft der Zellkern vorfand, welch letzterer aber in anderen Fällen auch im Wandbeleg, oder an einer anderen Stelle innerhalb der Zellhöhlung gelagert war.

In den später luftführenden Zellen von Sphagnum besitzt der Plasmakörper einen schaumigen Bau lange vor dem Auftreten der inneren Leisten. Der Kern lagert central, die spärlichen fast farblosen Chlorophyllkörper umgeben ihn, oder sind den Plasmaplatten eingebettet. Kurz vor dem Auftreten der Leisten vereinfacht sich der Bau des Plasmakörpers, es bleiben nur diejenigen, das Lumen quer oder mehr oder weniger schräg durchsetzenden Platten bestehen, in deren peripherischen Partien die Leisten sich bilden. Bewegungen konnte ich im Plasmakörper der vorliegenden Zellen weder vor noch während der Ausbildung der Leisten nachweisen.

In den mit Leisten oder unregelmässiger geformten inneren Protuberanzen versehenen Epidermiszellen der Blumenblätter und anderer Organe werden diese zunächst in entsprechender Weise durch den Plasmakörper, der dabei also polycentrisch wird, vorgebildet. Meist ist auch hier der Kern im Centrum der Zellen an Fäden und Platten suspendirt, oft aber auch der Wand mehr oder weniger angelagert. Die nach innen vorspringenden Plasmaleisten, in denen später die Celluloselamellen auftreten, endigen entweder mit freier Kante gegen den Saftraum, oder sie sind seitlich miteinander durch Plasmabrücken verbunden. In den letzteren Fällen werden auf diese Weise eine Anzahl peripherischer, kleinerer Safträume von dem grösseren centralen abgegrenzt.

Auch in jungen Gefässzellen macht der Plasmakörper keine Ausnahme von dem geschilderten Verhalten. Zu der Zeit, wo die Verdickungsleisten aufzutreten beginnen, und schon vorher zeigte er mir überall, wo ich danach suchte, polycentrische Symmetrie. So fand ich bei Silybum marianum, Dahlia, Philodendron grandifolium, Scindapsus pinnatifidus, Papaver Rhoeas, Ecbalium und anderen Cucurbitaceen am lebend untersuchten Material im Plasmakörper ein prachtvolles Gerüst dicker hyaliner Fäden (Platten bei Philodendron und Scindapsus) mit feiner Körnelung. Der Wandbeleg war in allen Fällen sehr massig, der Kern meist einer Seitenwand genähert, aber weit nach innen vorspringend, oft auch mehr central. Auch in den in Entwicklung begriffenen Tracheiden von Mamillaria crocidata mit Spirallamelle fand ich es ebenso.

Im Wandbeleg selber, der natürlich nach seiner Ablösung die auf

der Membran sich entwickelnde Zeichnung im Negativ erkennen lässt, wie das schon Schmitz[1]) und Strasburger[2]) hervorgehoben haben, konnte ich allerdings Differenzirungen, den auf der Membran auftretenden Zeichnungen entsprechend bisher nicht auffinden. Der Wandbeleg ist sehr dick und dem Anschein nach homogen, dürfte aber doch auch hier bei näherer und umfassenderer Untersuchung die den Membranskulpturen entsprechende polycentrische Gliederung zeigen. Meine diesbezüglichen Untersuchungen konnten hier nur orientirender Natur sein.

Was nun weiterhin die Formverhältnisse der vorliegenden Bildungen anbetrifft, so bieten die Fälle von Caulerpa, Pedicularis, die Oxalatzellen wieder kaum etwas bemerkenswerthes dar. Der bekannte charakteristische Bau des gerüstförmigen Plasmakörpers wird den Cellulosebalken ebenfalls aufgeprägt und dementsprechend setzen sich die letzteren auch unter den entsprechenden Winkeln aneinander an, zeigen an den Stellen, wo mehrere sich vereinigen, die bekannten Verdickungen, Abrundung der Ecken u. s. w. Scheinbar nicht in Uebereinstimmung damit steht es freilich, dass bei Caulerpa sich oft zartere Cellulosebalken rechtwinklig an andere ansetzen, während doch die Gesetze des Seilpolygons ein anderes Verhalten fordern. Das erklärt sich aber in einfacher Weise daraus, dass die betreffenden Balken erst später in neugebildeten Plasmafäden entstanden, nachdem die, an welche sie sich ansetzen, schon eine mehr oder weniger weitgehende Ausbildung erreicht hatten. Denn das gesammte Balkengerüst bildet sich bei Caulerpa z. Th. succedan, nicht vollkommen simultan aus.

Die Cystolithen wiederholen mehr oder weniger die Form der Zellen, denen sie eingelagert sind, doch zeigen sie bei Acanthaceen oft Tannenzapfenform. Ob in dieser Polarität bestimmte Beziehungen zur Umgebung, etwa zur Richtung gegen die Schwerkraft, oder zu umgebenden Zellen zum Ausdruck kommen, habe ich nicht näher untersucht.

In den Epidermiszellen, wo die vorliegenden Skulpturen schon vor längerer Zeit hauptsächlich von Nägeli[3]) und Pringsheim[4]), in neuerer Zeit von Hiller[5]) und Köhne[6]) nach Form und Vertheilung näher untersucht worden sind, finden sich besonders mannigfaltige und interessante Formen. Ich untersuchte selber eine grössere Zahl der hier-

1) A. a. O. 2) A. a. O. S. 51.
3) Linnaea, Bd. 16. 1842.
4) Hallens. Inaug.-Dissert. 1848.
5) Pringsh. Jahrbücher f. wiss. Botan. Bd. 15. S. 411 ff. Taf. 22 u. 23.
6) Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. 2. 1884. S. 24. Taf. II.

hergehörigen Bildungen im Sommer 1883. Die Verdickungen treten in manchen Fällen auf in Form wenig regelmässiger, stumpfer Höcker. Es entstehen dann, da in den aneinanderstossenden Zellen die entsprechenden Verdickungen meist alterniren, wie weiter unten gezeigt werden soll, die sogenannten excentrisch verdickten Zellwände. So in den Epidermiszellen der Stengel und Blätter von Gramineen, z. B. Zea Mays, Triticum, Phleum, Alopecurus, Saccharum u. s. w., ferner bei Scabiosa caucasica und nach Köhne bei Potentilla anserina, Rosa centifolia, Lepidium, Agrostemma, Delphinium Consolida.

Meist sind es aber radial nach innen gerichtete schmale Leisten, so bei Pelargonium zonale, Phlox decussata, Petunia hybrida, Viola tricolor und zahlreichen anderen von Köhne und den übrigen Autoren untersuchten Formen, welche hier namentlich aufzuführen von keinem Interesse wäre.

An ihrem inneren, freien Rande sind die betreffenden Leisten meist einfach abgerundet, zuweilen aber auch mehr oder weniger verbreitert, nämlich dann, wenn die Plasmalamellen, in denen sie gebildet wurden, die Seitenwände der schon oben erwähnten ringsumschlossenen peripherischen Vacuolenräume bildeten, wenn also der betreffende Plasmakörper hier einen schaumigen Bau besass. So ist es bei Hydrophyllaceen (untersucht wurden Eutoca viscida, Phacelia circinnata, Nemophila insignis), ferner bei Convolvulus tricolor. Die Celluloseausscheidung greift dann auch ein wenig in die Plasmalamellen hinein, welche die peripherischen Vacuolen nach innen abgrenzen. An der Innenseite der Zellaussenwand sind dann die benachbarten Leisten oft arcadenförmig durch schwache Cellulosevorsprünge miteinander verbunden (Nemophila insignis, Convolvulus tricolor).

Zuweilen geht dieser Process noch weiter, dann können die durch die Leisten seitlich gegeneinander abgegrenzten Räume auch nach innen zu durch Membranlamellen vollständig überdeckt werden, so in den Blumenblättern von Plumbago capensis. In anderer Weise zerfallen dagegen die langgestreckten Epidermiszellen der Krone von Oxalis Valdiviana in eine Anzahl durch Celluloselamellen vollständig voneinander getrennter Fächer, indem sich nämlich zunächst eine Anzahl das Zellinnere der Quere nach durchsetzender Plasmalamellen ausbilden. Oft aber entstehen in einem Theil der Zelle auch zwei alternirende Reihen von Vacuolenräumen nebeneinander, sodass das spätere Cellulosegerüst dementsprechend ein complicirteres wird.

Ohne besonderes Interesse sind in der Regel die Formverhältnisse der Wandskulpturen in verdickten Parenchymzellen, wie sie in der Rinde, im Mark, in Cotyledonen, im Endosperm u. s. w. so häufig auftreten. Wir finden hier in der Regel flache Tüpfel von rundlichen oder elliptischen Umrissen. Kleine, gedrängt liegende Tüpfelgruppen zeigen

an den Berührungskanten jene polygonale Abplattung, wie sie die im vorigen Kapitel näher besprochenen hydrostatischen Gesetze verlangen. Auf weiteres Detail einzugehen, wäre bei der grossen Mannigfaltigkeit im einzelnen hier ohne Interesse, eine umfassendere vergleichende Bearbeitung dürfte aber manche bedeutungsvolle Anhaltspunkte von allgemeinerer Wichtigkeit zu geben vermögen.

Auch auf die so äusserst mannigfaltigen Tüpfelformen, wie sie in netz- und treppenförmig verdickten Gefässen auftreten, sowie auf die Formen der Verdickungsleisten, wie sie bekanntlich die Zellen der Antherenwände zeigen, kann hier nur flüchtig hingewiesen werden. Eine eingehendere Untersuchung konnte ich ihnen ebenfalls nicht widmen, einzelne willkürlich herausgegriffene Fälle zeigten aber zum Theil nichts bemerkenswerthes, wiesen aber andererseits auch Verhältnisse auf, die nur auf dem Wege umfassenderer vergleichender Untersuchungen ihre volle Erklärung finden können.

Auch die gehöften Tüpfel können hinsichtlich ihrer Ausbildung und Formen einer mechanischen Erklärung principielle Schwierigkeiten nicht darbieten. Wir können sie auffassen als mehr oder weniger vollständig überdeckte peripherische Vacuolenräume, die je nach den im Plasmakörper ausgebildeten Symmetrieverhältnissen kreisrunde oder mehr elliptisch in die Länge gezogene Formen darbieten. Leider haben die neueren eingehenden Untersuchungen über die Entwicklung der gehöften Tüpfel von Sanio[1]), Russow[2]) und Strasburger[3]) uns über den Bau und das Verhalten der Plasmakörper während ihrer Entwicklung keinen Aufschluss gegeben, und mir selber war es bisher noch nicht möglich, eigene Untersuchungen nach dieser Richtung hin anzustellen. Wie die erwähnten Beobachter fanden, entstehen zunächst die sog. Primordialtüpfel, welche eine viel bedeutendere Grösse besitzen, als die späteren Hoftüpfel, woraus hervorgeht, dass während des Verlaufs dieser Entwicklungsvorgänge im Plasmakörper der betreffenden Zellen fundamentale Aenderungen der Symmetrieverhältnisse eintreten. Dass diese auch weiterhin noch Aenderungen unterliegen können, zeigt auch die gelegentliche eigenthümliche Ausbildung des Porus, der in manchen Fällen an seiner inneren Seite sehr stark und auffallend in die Länge gezogen ist.

Das Auftreten der ringförmigen Verdickungsleisten der Ringgefässe versteht sich in derselben Weise, wie die Bildung der ringförmigen Celluloselamelle in den sich theilenden Zellen von Cladophora, Spirogyra u. s. w., welche in den sich theilenden Zellen von Craterospermum ja ebenfalls in Mehrzahl gleichzeitig auftreten.

1) Pringsh. Jahrb. Bd. 9. 1873.
2) Neue Dörptsche Zeitung 1881.
3) Zellhäute. S. 39 ff.

Wie aber die Formen und die Anordnung der spiraligen Verdickungsleisten mechanisch zu erklären sein werden, mag auch hier, wie bei den spiraligen Chlorophyllbändern von Spirogyra und Spirotaenia dahingestellt bleiben. Mir fehlen dafür bisher alle sicheren Anhaltspunkte. Möglicherweise müssen für die Erklärung dieser Thatsachen, wie vermuthlich auch für die so allgemeine Erscheinung der Anordnung der Cellulosemolecüle der Membranen in linksgewundenen Spiralen Kräfte herbeigezogen werden, die in dem festen Aggregatzustande der Cellulosemolecüle begründet liegen. Solche Formverhältnisse mögen vielleicht der Ausfluss eines Krystallisationsbestrebens der Cellulosesubstanz sein, eines Bestrebens, welches sich aber im allgemeinen bei den in der Pflanze gegebenen Verhältnissen nur in sehr beschränktem Masse Geltung zu verschaffen vermag. Es wäre aber nutzlos, hier bei der Erörterung solcher Möglichkeiten länger zu verweilen, so lange noch alle nothwendigen thatsächlichen Grundlagen für eine Bearbeitung dieser Fragen fehlen.

Für die Formgestaltung behäuteter Zellen müssen natürlich ganz andere Kräfte massgebend sein, als wir sie im dritten Kapitel für die Gestaltung nackter Plasmamassen herbeigezogen haben. Die starre Hülle muss hier durch energischere Mittel veranlasst werden, sich zu dehnen, ihre Gestalt zu modificiren, als sie die Oberflächenkräfte zu liefern im Stande wären. In der That hat denn auch die experimentelle physiologische Forschung nachgewiesen, dass das Wachsthum mit Zellhaut umgebener Pflanzentheile von den hydrostatischen Druckkräften, wie sie durch den Turgor der Zellen geliefert werden, in erster Linie abhängig ist.

Der hydrostatische Druck wirkt aber nach allen Richtungen mit gleicher Intensität, er wird also, wenn er überall gleichen Widerstand findet, auch nur allseitig gleichmässige Volumzunahme veranlassen können, etwa wie wir das bei den kugligen Volvocineen, bei Halosphaera, Eremosphaera u. s. w. verwirklicht finden. Allerdings mit Ausnahme aller der Fälle, wo mehrere bis zahlreiche derartige Systeme sich gegenseitig berühren und in ihrem Ausdehnungsbestreben hindern. Das ist im allgemeinen im Gewebeverbande aller Pflanzen der Fall, aber auch wenn z. B. kuglige Algenkeimlinge sich in dicht gedrängten Haufen zu entwickeln gezwungen sind. Dass dabei nach rein mechanischen Gesetzen polygonale Abplattung mit ganz bestimmter Anordnung und Richtung der zusammentreffenden Kanten und Ecken entstehen muss, haben wir im vorigen Kapitel näher begründet. Diese Fälle brauchen uns also nicht mehr zu beschäftigen. Wir haben uns hier vielmehr wieder an die Individualität der einzelnen Zellen zu wenden, zu untersuchen,

wie die Formen, die sie aus innerer Machtvollkommenheit beim Wachsthum annehmen, oder dann, wenn ihrem Eigengestaltungsbestreben nur in beschränktem Masse durch anstossende Gewebe u. s. w. Einhalt gethan wird, mechanisch abzuleiten sind.

Sollen also in diesen Fällen beim Wachsthum andere als Kugelformen entstehen, so müssen die Widerstände, die sich der Turgordehnung entgegensetzen, nach den verschiedenen Richtungen ungleiche sein, und da diese Widerstände zweifelsohne fast allein von der umgebenden Cellulosemembran herrühren, so muss also diese letztere dann nach den verschiedenen Richtungen in qualitativer oder quantitativer Beziehung Ungleichmässigkeiten zeigen. An weniger widerstandsfähigen Stellen, wo die Haut entweder dünner oder dehnbarer ist, wird so dem inneren Turgordruck leichter nachgegeben und werden Vorwölbungen entstehen können.

So finden wir denn z. B. an den später lufthaltigen Zellen von Sphagnumblättern die Membranpartien, die zwischen den nach innen vorspringenden Leisten liegen, noch vor dem Auftreten der Löcher bauchig aufgetrieben, so sind auch die Aussenwandungen der Epidermiszellen zahlreicher Blumenblätter, deren Seitenwandungen gewellt sind, oder nach innen vorspringende Leisten zeigen, ganz gewöhnlich in Form von Papillen oder bauchiger Protuberanzen nach aussen vorgetrieben. Sind solche Epidermiszellen lang gestreckt, so sind die Vorwölbungen dementsprechend ebenfalls oft in Form gestreckter, stumpfer Rücken ausgebildet, und dann findet man sie in der Regel mit Ausbauchungen und Einschnürungen versehen, je nachdem die Partien über nicht verdickten, oder über leistenförmig nach innen vortretenden Stellen der Seitenwände liegen. Denn an den letzteren Stellen ist auch die freie Aussenwand etwas stärker verdickt worden und konnte darum dem dehnenden Turgordruck erfolgreicheren Widerstand leisten. So geformte Vorwölbungen fand ich z. B. bei Plumbago capensis, Tolpis umbellata, Phacelia circinnata.

Ganz entsprechend sind z. B. auch bei den mit spiralig angeordneten nach innen vorspringenden Cellulosezapfen versehenen Rhizoiden von Marchantia die zwischenliegenden dünner gebliebenen Wandpartien durch den Turgordruck bauchig nach aussen vorgewölbt.

Wir haben oben gesehen, dass in den Epidermiszellen während der Leisten- und der damit Hand in Hand gehenden Papillenbildung der Plasmakörper einen polycentrischen Bau besitzt, dass die Hauptmenge desselben an den Stellen angehäuft ist, wo die Leisten sich bilden sollen, während die dazwischen liegenden Theile der Zellwand nur einen spärlichen Wandbeleg aufweisen. Die Differenzen, welche nun die entsprechenden Membranpartien nach Dicke und Widerstandsfähigkeit zeigen, würden sich darum schon durch die nachweisbaren Diffe-

renzen in der quantitativen Vertheilung des Wandbelegs verstehen lassen. Wir haben indessen Grund anzunehmen, dass der Wandbeleg an den Stellen geringerer Dicke auch qualitativ ein anderer ist als an den übrigen Stellen. Näheres darüber soll weiter unten angeführt werden.

Zunächst ergibt sich also, dass die dem Turgordruck am meisten nachgebenden Membranpartien mit einem an Masse auffallend geringen Wandbeleg ausgestattet sind.

Es fragt sich nun, lässt sich das allgemein für alle Fälle constatiren, in erster Linie also für die freigelegenen Vegetationspunkte von Zellen und Zellfäden, wie wir sie überall bei den Thallophyten und bei den mannigfaltigen Haarbildungen der höheren Pflanzen so schön ausgebildet finden? Wie bekannt, ist das anscheinend nicht der Fall. Gerade an derlei Vegetationspunkten haben sich bisher immer besonders massige Plasmaanhäufungen vorgefunden, so bei den Cladophoren, Vaucherien, Bryopsis, Derbesia, bei Bornetia, Griffithia, Saprolegnia, Mucor, Moosprotonemen u. s. w. Auch für die jungen Rhizoiden und Wurzelhaare aus den verschiedensten Pflanzenklassen trifft dasselbe zu.

Alle diese Plasmaanhäufungen sind aber in chlorophyllführenden Zellen durch das Fehlen der Farbkörper ausgezeichnet. Während die letzteren in dem Wandbeleg der älteren Zellpartien dicht an die Membran hinantreten, lassen sie am Vegetationspunkt dicke Schichten unterhalb der Membran ganz frei, fehlen hier oft vollständig im gesammten Wandbeleg. In anderen Fällen finden sie sich hier zwar vor, liegen aber auffallenderweise gerade weit ab von der zarten Membran, in denjenigen Schichten des Wandbelegs, die unmittelbar an den Zellsaft angrenzen. So ist es sehr schön zu beobachten an kräftigen Vegetationspunkten von Bryopsis, Derbesia, Vaucheria, Cladophora, Bornetia, Griffithia u. s. w. Ganz besondere Beachtung verdienen nun die Symmetrieverhältnisse dieser Partien des Wandbelegs. Sie lassen sich sicher und leicht freilich nur unter besonderen Umständen feststellen, z. B. an den Scheiteln von Bryopsis, Derbesia, Vaucheria, Bornetia, Griffithia u. a. Formen, bei denen der Wandbeleg auch zahlreiche Zellkerne führt. Zum Theil schon die lebenden Objecte, aufs beste aber die gefärbten zeigen, dass hier die Zellkerne nicht innerhalb der Chlorophyllkörper nach dem Saftraum zu lagern, wie es die normalen Symmetrieverhältnisse erfordern und wie es auch in den älteren Zellen und Zelltheilen der betreffenden Pflanzen der Fall ist, sondern sie liegen in der farblosen Plasmaanhäufung, zwischen den nach innen gewandten Chlorophyllkörpern und der Zellhaut. Die beigegebenen Figuren 4 und 3 auf Taf. VII von Bryopsis cupressoides und Griffithia barbata

mögen das erläutern. Der Wandbeleg zeigt also hier in der That bei genauerer Untersuchung seiner Hauptmasse nach inverse Symmetrie, ist „abgehoben". Wirklich fand ich öfter an etwas protoplasmaarmen Scheiteln von Bryopsis zwischen der Zellwand und der Hauptmasse des Plasmakörpers kleine Vacuolen, kleine Safträume eingeschaltet, und in kleineren Scheitelzellen von Griffithia barbata fand ich oft die Zelle zwar ganz mit Protoplasma erfüllt, aber fast die ganze Masse der Farbkörper in ihrem Centrum angehäuft, das farblose Plasma aber und alle Kerne in der Nähe der Zellperipherie.

In einkernigen Zellen, wie z. B. im Scheitel eines Moosprotonema ist natürlich ein entsprechendes Verhalten des Wandbelegs nicht so leicht zu constatiren, aber zweifelsohne ebenfalls vorhanden. Die Vegetationspunkte von Saprolegnia, Mucor und anderen Pilzen aber, ferner die Rhizoiden und Wurzelhaare bieten wegen des Fehlens der Farbkörper noch grössere Schwierigkeiten dar, es ist indessen nicht daran zu zweifeln, dass auch hier dieselben Symmetrieverhältnisse im Wandbeleg herrschen werden. Es besitzen also in der That auch an den Vegetationspunkten die dem Turgordruck nachgebenden, also am wenigsten widerstandsfähigen Membranpartien im Verhältniss zu den übrigen Theilen der Zelle einen auffallend dünnen normal geschichteten Wandbeleg, da die Hauptmasse des vorhandenen Plasma „abgehoben" ist, nicht als Wandbeleg betrachtet werden darf.

Ich habe nun noch eine Reihe anderer Zellen, die localisirtes Spitzenwachsthum zeigen, oder die nach verschiedenen Seiten Ausstülpungen bilden, auf das Verhalten ihres Plasmakörpers während dieser Wachsthumsvorgänge untersucht und gefunden, dass die Symmetrie des Plasmakörpers überall dem oben Gefundenen entsprach.

An den Blatträndern von Ceratophyllum demersum wachsen einzelne Zellen zu ziemlich grossen Borstenhaaren aus. In den jungen Zellen liegt der grosse Kern an der Innenwand von dem grössten Theil der Chlorophyllkörper umgeben, gegen die freie Aussenfläche zu finden sich eine grosse, oder mehrere kleinere Vacuolen. Der Wandbeleg an der Aussenseite ist entweder spärlich, oder auch auffallend dick. Im letzteren Falle zeigt er aber inverse Symmetrie, denn wie in den oben besprochenen Vegetationspunkten liegen dann die Farbkörper nach innen gegen den Saftraum zu gedrängt, und oft findet sich dementsprechend auch dieser ganze Beleg von kleinen Vacuolen durchsetzt (vergl. Taf. VII Fig. 5a und b). Diese Structur ist besonders deutlich an schon etwas entwickelteren jungen Haarzellen.

Dass in den Zellen der Rhizoiden und Wurzelhaare ein ähnlicher Plasmabau angenommen werden muss, haben wir schon oben hervorgehoben, auch in den papillenbildenden Epidermiszellen zahlreicher Blumenblätter habe ich mich, wie ebenfalls schon aus dem früher Ge-

sagten hervorgeht, von derselben Thatsache überzeugt, ich habe es deshalb für unnöthig gehalten, in ausgedehnterer Weise noch die Vegetationspunkte anderer junger Haarbildungen auf den Bau ihres Plasmakörpers zu untersuchen. Im übrigen gibt schon Weiss[1]) an, dass in den jungen Haarzellen der Kern in dem basalen Theil liegt, wie in den Haaren von Ceratophyllum.

In den mit zahlreichen Fortsätzen versehenen Steinzellen, wie sie sich in der Rinde und im Mark von Magnoliaceen in grosser Menge vorfinden (ich untersuchte Magnolia Norberti u. a. Arten, Liriodendron), fand ich während der Ausbildung der Fortsätze einen polycentrischen gerüstförmigen, oder schaumigen farblosen Plasmakörper mit spärlichem Wandbeleg, ebenso fand ich es in den Zellen, welche im Innern des Gewebes von Aroideen (untersucht Scindapsus pinnatifidus) zu den bekannten Haaren anwachsen.

Die Zellen, in denen sich Cystolithen, Oeltropfen oder Oxolatdrusen bilden, und die, wie wir oben sahen, einen polycentrischen nur zum sehr geringen Theil der Wand anliegenden Plasmakörper besitzen, zeigen oft auffallend starkes Wachsthum gegenüber den übrigen Gewebezellen, so bekanntlich bei Ficus elastica, ferner die Oelzellen der Magnoliaceen, von Asarum, Aristolochia, Acorus. Auch die starke Volumzunahme der Gefässzellen selber, gegenüber den übrigen Zellen des Holzkörpers, dürfte in Beziehung stehen zu der polycentrischen Symmetrie des Plasmakörpers der betreffenden Zellen, auf die schon oben hingewiesen wurde, indem ihre Membran infolge dessen dem Turgordruck gegenüber weniger widerstandsfähig wird, als die der benachbarten Zellen.

So fand ich auch in den mächtig anschwellenden Cystidenzellen, welche bekanntlich zerstreut über die Oberfläche der Lamellen von Coprinusarten hervorragen, einen polycentrischen gerüstförmigen Plasmakörper mit geringem Wandbeleg.

Auch bei der Bildung der Entleerungspapillen für die Schwärmer in den Sporangien der Algen und Pilze nimmt der Wandbeleg an den betreffenden Stellen polycentrische Structur an und hebt sich grösstentheils von der Membran ab, wie sich bei Bryopsis, Cladophora, Saprolegnia u. s. w. sehr gut nachweisen lässt.

Wir sehen also, wie an denjenigen Stellen, wo die Zellhaut weniger widerstandsfähig bleiben, oder wieder werden soll, der Wandbeleg dünner ist, oder durch Abheben des grössten Theiles nachträg-

1) Karsten's botan. Untersuchungen. I. Berlin 1867.

lich dünner gemacht wird, als an den übrigen Stellen. Dass er dabei an diesen Stellen auch qualitativ ein anderer wird, dürfte sein verschiedenes Aussehen unter dem Mikroskop schon beweisen, geht aber auch daraus hervor, dass unter seinem Einfluss offenbar die betreffenden Wandpartien in ihrem physikalischen Verhalten modificirt, resp. auch partiell in Lösung übergeführt werden können. Es handelt sich dabei also nicht etwa nur um durch die grössere Dünne des Wandbelegs bedingte, weniger massenhafte Production neuer Membransubstanz als an den übrigen Theilen der Zelloberfläche. Wenn sich bei den Algen- und Pilzsporangien die Entleerungspapillen bilden wollen, so sieht man die Membran an diesen Stellen aufquellen, eine bläuliche Farbe annehmen, und dasselbe ist der Fall, wenn sich bei Algenthallomen, wie Bryopsis, Cladophora u. s. w. zum Zweck der Verästelung neue seitliche Vegetationspunkte bilden wollen. Vielleicht handelt es sich dabei um die Bildung eines die Cellulose auflockernden oder lösenden Fermentes, möglicherweise ist aber ein solches schon vorgebildet im Zellsaft vorhanden, und es wird durch die Verdünnung und Modification des Wandbelegs nur das Eindringen desselben in die Haut an den betreffenden Stellen ermöglicht.

Dass Lösung der Membran in solchen Fällen stattfinden kann, zeigen die Entleerungspapillen der Algen- und Pilzsporangien, sehr gut auch die Löcher, welche sich in den aufgeblähten Stellen der Zellen der Sphagnumblätter bilden, ferner die wieder verschwindenden Querwände zwischen den einzelnen Zellen der Gefässe und der gegliederten Milchröhren. Auch bei den letzteren konnte ich mich in mehreren Fällen überzeugen, dass während der Auflösung der Membran das Plasma einen polycentrischen Bau besitzt. An Vegetationspunkten dürfte für gewöhnlich freilich eine Lösung der Membran nicht stattfinden, vielmehr muss hier ja fortwährend Membransubstanz neu ausgeschieden werden, wenn die ursprüngliche Membran nicht durch übermässige Dehnung zerrissen werden soll. Das lässt sich auch in der That direct nachweisen. Schmitz[1]) hat zuerst darauf hingewiesen, dass am Vegetationspunkt von Bornetia secundiflora auf der Innenseite der stark gedehnten und dünn ausgezogenen älteren Membrantheile fortwährend neue Celluloseschichten durch Apposition angelagert werden. Strasburger[2]) hat das für dasselbe Object später bestätigt, und eine Abbildung von dem Verlauf der Schichtung an dem betreffenden Vegetationspunkte gegeben. Besonders schön und leicht konnte ich selber diese Thatsache an den Scheiteln von verschiedenen Griffithien, besonders von G. opuntioides, ferner bei Spermothamnion Turneri nachweisen, als die Ob-

1) Bonner Sitzungsber. 6. Dec. 1880.
2) Zellhäute. S. 176 ff. Taf. IV. Fig. 55.

jecte nach Abtödtung durch Jod mit Hämatoxylin gefärbt wurden. Es genügt aber auch lebendes Material einfach in destillirtes Wasser zu bringen und sofort zu untersuchen. Man erhält so an den langsam quellenden Membranen vorzügliche Bilder des angegebenen Schichtungsverlaufs. Weiter unten werden wir übrigens noch weitere, ganz unwiderlegliche Beweise für das Appositionswachsthum der Zellmembranen zu erwähnen haben.

Das Auftreten localisirter Vegetationspunkte hat die Ausbildung gestreckter Zellgebilde zur Folge, deren Formen im einzelnen von den speciellen Symmetrieverhältnissen abhängen, wie sie im Plasmakörper der betreffenden Vegetationspunkte zeitweilig oder dauernd sich herstellen. Bleiben dieselben längere Zeit hindurch sich gleich, so wird ein cylindrischer Faden resultiren müssen, desse Dicke abhängen muss von der Schnelligkeit, mit der die Membran am Vorderende von den Stellen stärkster Dehnbarkeit ausgehend, ihre maximale Widerstandsfähigkeit an den Seitenwänden erreicht. Stellt sich also die zu Grunde liegende Polarität des Plasmakörpers am Vegetationspunkte ziemlich unvermittelt her, so wird der Faden dünner, sind die Uebergänge sehr allmählich, so wird er dicker werden müssen. Zeigt der Plasmakörper ausserdem noch in der Richtung des Querschnitts bilaterale oder dorsiventrale Symmetrie, so werden dementsprechend abgeplattete oder dorsiventrale Gebilde sich herstellen. Mit den Variationen der Symmetrieverhältnisse im Plasma der Vegetationspunkte werden auch alle diese Zellformen variiren müssen. So erklären sich mechanisch ohne weiteres die conischen oder keulenförmigen Gestalten vieler Haarbildungen, oder z. B. die plötzlichen Verdünnungen, die Pilzfäden oft zeigen, wenn sie in ein schlechter nährendes Medium gebracht werden, die Auftreibungen der Fäden bei der Bildung der Sporangien der Saprolegnien z. B., u. s. w.

Gibt der Plasmakörper am Vegetationspunkte schliesslich seinen polaren Bau auf und nimmt radiäre Structur an, dann entstehen kuglige Anschwellungen, wie wir sie bei der Sporangienbildung von Mucor, der Bildung der Oogonien von Saprolegnia u. s. w. auftreten sehen. Man kann sich in der That bei Saprolegnia durch den mikroskopischen Anblick sofort überzeugen, dass mit dem Auftreten der zur Oogonienbildung führenden Anschwellung die Polarität des Plasmakörpers am Vegetationspunkt geschwunden und radiärer Vertheilung Platz gemacht hat. Es lässt sich dabei auch in Uebereinstimmung mit unseren vorstehenden Ausführungen erkennen, dass der Plasmakörper seiner Hauptmasse nach von der Wand abgehoben ist, also wenn er auch meist den ganzen Raum erfüllt, doch nicht einfache normale Symmetrieverhältnisse zeigt. Erst später, wenn nach der Abtrennung vom Faden durch eine Quer-

wand die Vorbereitungen zur Bildung der Oosphären getroffen werden und im Innern ein Saftraum auftritt, gestaltet sich der Plasmakörper für kurze Zeit zu einem mehr oder weniger dicken Wandbeleg mit normaler Schichtung um. Wir haben darauf im folgenden Kapitel noch einmal zurückzukommen.

Je nachdem die hier massgebenden Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers in mehr regelmässiger Weise oder ohne Regel wechseln, müssen die entstehenden Zellformen auch ausfallen, und die Gesammtgestaltung wird in besonders massgebender Weise abhängen davon, ob nachträglich neue secundäre Vegetationspunkte neben und in Abhängigkeit von dem ursprünglichen auftreten, in welcher Zahl, Disposition u. s. w. Darauf hier im einzelnen näher einzugehen, wird nicht nöthig sein. Es gelten dafür alle diejenigen Erörterungen, die wir bei der Behandlung der Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers gemacht haben. Auf einige speciellere Fälle, wo sich hierbei der Einfluss äusserer Agentien bemerkbar macht, kommen wir im übrigen am Schluss dieses Kapitels nochmals zurück.

Dagegen dürfte es wohl am Platze sein, hier noch einigen jener eleganten und zierlichen Zellformen, wie sie sich bei vielen einzelligen Algen, bei den Desmidieen und Diatomeen in so mannigfaltiger Ausbildung finden, im Anschluss an das Gesagte eine besondere kurze Betrachtung zu widmen. Gerade diese Zellformen, in denen das Gestaltungsvermögen des Protoplasma zur höchsten Vollendung gediehen ist, dürften gewiss bei Bedenken gegen die Zulässigkeit unserer Hypothese von der flüssigen Natur des Protoplasmakörpers zunächst am schwersten mit in die Wagschale fallen. Aber eine nähere Prüfung der sich hier aufdrängenden Fragen zeigt, dass die bisher entwickelten Gesichtspunkte auch in diesen Fällen genügen, um die Mannigfaltigkeit und Regelmässigkeit dieser Formen im Princip als mechanisch ableitbar erscheinen zu lassen. Es wird genügen, an einigen ausgewählten Beispielen die Punkte, auf die es hierbei wesentlich ankommt, näher hervorzuheben.

Zu den zierlichsten Formen unter den Desmidieen gehören die Arten von Micrasterias und Euastrum. Sie besitzen, wie auch die Cosmarium- und Staurastrumarten eine in der Mitte tief eingeschnürte Zelle von stark abgeplatteter Querschnittsform. Wenn die mittlere Einschnürung, was wohl vorausgesetzt werden darf, sich ebenso wie bei Cosmarium während der Keimung der Zygoten ausbildet, so haben wir sie uns durch eine unvollständige Zweitheilung der jugendlichen Keimzellen entstanden zu denken, wie aus der entsprechenden Darstellung de Bary's[1]) für Cosmarium Botrytis hervorgeht. Weiter ist die Ausbildung der stark

1) Conjugaten. Taf. VI, 14—21.

abgeplatteten Querschnittsform aus bipolarer Symmetrie des Plasmakörpers während ihrer Entwicklung abzuleiten, der zufolge an zwei gegenüberliegenden Stellen sich Vegetationsränder ausbildeten. Bei Micrasterias (Taf. VI, Fig. 10) ist jede Zellhälfte am Rande an drei etwa gleichweit voneinander entfernten Stellen tief eingeschnürt. Dafür muss das Auftreten einer entsprechenden ungleichmässigen Vertheilung des Wandbelegs, wodurch der zunächst einheitliche Vegetationsrand in drei Abschnitte zerlegt wurde, massgebend gewesen sein. Nach unseren bisherigen Ausführungen ergeben sich aber für die Ausbildung dieser Symmetrieverhältnisse im Plasmakörper keinerlei theoretische Schwierigkeiten.

Weiterhin zeigt dann der Rand jedes Abschnittes sich wiederholende Zweitheilungen, die sich in entsprechender Weise erklären, bis schliesslich die letzten Abschnitte in eine feine Spitze auslaufen.

Aehnlich ist auch die Zellform bei Euastrum, von der wir ebenfalls in Fig. 9, Taf. VI eine Umrisscopie nach der Natur geben, es wird nicht nöthig sein, nach dem Vorstehenden noch näher auf sie einzugehen.

Leider war es mir nicht möglich, die Entwicklung von Micrasterias oder Euastrum selber eingehend zu verfolgen, und so festzustellen, ob der Plasmakörper sich während derselben in der That so verhält, wie es die vorstehenden Ausführungen verlangen, woran ich nicht glaube zweifeln zu dürfen.

Wenn, wie bei Staurastrum, Polyedrium, manchen Desmidieen, die Zellhälften drei- oder mehreckige Querschnittsformen besitzen, so ist natürlich in ihnen während ihrer Ausbildung eine tri- bis polypolare Symmetrie des Plasmakörpers anzunehmen, wie wir sie ja auch in den ausgebildeten Zellen hier vorfinden, worauf schon früher hingewiesen wurde.

Man könnte nun hier vielleicht den Einwurf machen, dass wir im vierten Kapitel die Symmetrie des Plasmakörpers der vorliegenden Organismen in Beziehung gesetzt haben zu der äusseren Formausbildung ihrer Zellen, während wir vorstehend umgekehrt die Entwicklung der Zellform aus der Symmetrie des Plasmakörpers abzuleiten versuchten. Es liegt darin indessen keineswegs ein Cirkelschluss. Denn wir haben früher gesehen, dass die Beziehungen zwischen den Symmetrieverhältnissen des Plasmakörpers einer Zelle und der Symmetrie der äusseren Form derselben nach den Einzelfällen sehr verschiedene sein können. Der Plasmakörper vermag sich von den Einflüssen aus der äusseren Form der Zelle zu emancipiren, in radiären Zellen sich polar, in polaren radiär auszubilden und zeigt ganz gewöhnlich in derselben Zelle zu verschiedenen Zeiten ein ganz verschiedenes Verhalten. Wir dürfen darum sehr wohl annehmen, dass während der Entwicklung der Zellen die Ausbildung der äusseren Form auf eine aus inneren Ursachen sich

ableitende Polarität des Plasmakörpers zurückzuführen sei, dass aber später die äussere Zellform für die letztere mehr Bedeutung gewonnen habe. Denn der Antheil, der jedem dieser beiden Factoren im Einzelfalle für die Ausbildung der thatsächlich vorhandenen Symmetrieverhältnisse zukommt, lässt sich nie sicher feststellen.

Wir haben bei den bisherigen Ausführungen wesentlich nur solche Fälle berücksichtigt, bei denen das Wachsthum an einzelnen hervorragenden und sich verlängernden Spitzen von Zellen localisirt war. Es wird den neueren Ausführungen von Sachs gegenüber nicht überflüssig sein, hier noch ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass an den Vegetationspunkten von Bryopsis, Vaucheria, Derbesia, Stypocaulon, Saprolegnia u. s. w. nur Spitzenwachsthum statthat, intercalare Streckung aber fehlt.

Eine nicht minder wichtige Frage für unser Thema ist es nun, in welcher Weise die Pflanze verfährt, um auch beim Auftreten intercalarer Verlängerung durch Wachsthum die Ausbildung bestimmter Zellformen zu erzielen.

Es ist klar, dass auch hier, bei allseitig gleicher Dehnbarkeit der betreffenden Membranen nur Kugelformen möglich sind, wie wir sie in der That in vielen Fällen auch mehr oder weniger genau sich ausbilden sehen (Nostocaceen, Batrachospermum, Nemastomeen und andere Florideen, manche Phaeosporeen). Kommen aber hierbei anisodiametrische Zellformen zur Entwicklung, so müssen auch entsprechende Differenzen in den Plasmakörpern der betreffenden Zellen und davon abhängig auch in den verschiedenen Partien der Membranen vorhanden sein.

Wir wollen uns nun auch hier allein auf die Betrachtung einzelner Zellen und von Zellfäden beschränken; complicirtere Gewebekörper, wie sie bei höheren Pflanzen fast immer vorliegen, dagegen ganz ausser Acht lassen. Bei diesen kommen, neben den individuellen Eigenthümlichkeiten der einzelnen Zellen, noch aus dem verschiedenen Verhalten der einzelnen Gewebepartien sich ableitende Druck- und Zugwirkungen so mannigfaltiger Art in Betracht, dass auf einen klaren Einblick in die hier auftretenden Verhältnisse nicht eher zu hoffen ist, als bis das ganze vorliegende Gebiet in detaillirter Weise durchforscht worden ist.

Aber auch von diesen, hauptsächlich bei den niederen Pflanzenformen vertretenen einfacheren Fällen können nur wenige hier näher besprochen werden, da meine diesbezüglichen Untersuchungen nur wenig umfassende sind, und ich mich darum darauf beschränken muss, das hervorzuheben, was mir bei meinen Versuchen mich zu orientiren als das Lehrreichste aufgestossen ist. Vielleicht dürfen wir in nicht allzu

langer Zeit von anderer Seite eingehendere Aufschlüsse nach dieser Richtung erwarten. Ich habe darum diese Fragen hier nicht weiter verfolgen wollen, als für die Darlegung der principiell wichtigen Gesichtspunkte unbedingt nöthig erschien.

Wenn wir sehen, dass bei so vielen Fadenalgen die Gliederzellen trotz sehr bedeutender intercalarer Verlängerung und Volumzunahme mehr oder weniger vollständig Cylinderform annehmen oder beibehalten, so muss die unter dem Einfluss der Turgorkräfte sich dehnende Membran eine in ganz bestimmter Weise abgestufte Widerstandsfähigkeit besitzen. So weit nun meine Beobachtungen reichen, scheint ganz allgemein von intercalar wachsenden Zellen ein sehr einfaches Hülfsmittel zur Erzielung der Cylinderform benutzt zu werden.

Die Zellhaut dehnt sich nämlich mit dem Beginn des intercalaren Wachsthums hauptsächlich in einer von den Querwänden entfernteren, entweder in der Zellmitte, oder auch mehr nach oben oder unten gelegenen Zone. So zerfällt die Membran in zwei Hälften, die durch eine dünnere Partie, dort wo sie dem Turgordruck durch Dehnung nachgegeben hat, getrennt sind. An dieser Stelle werden nun mit dem Fortschreiten der Dehnung nach und nach immer neue Membranlamellen innen angelagert.

Ein schönes Beispiel dafür liefert eine grosse Conferva-Art, welche ich im Sommer 1883 in Tümpeln auf den Maasweiden bei Lüttich sammelte, wo sie gemeinsam mit Cladophora fracta ziemlich häufig war. Ich habe sie als C. amoena Ktz. bestimmt.

Den Bau der Membran, der nach dem Abtödten der Alge mit Jodlösung und Zusatz von Glycerin sehr deutlich wird, veranschaulicht die Fig. 17 auf Taf. V.

Einen ähnlichen Membranbau, der aber wegen der Kleinheit der Objecte lange nicht so deutlich ist, zeigen auch die übrigen besonders im Frühjahr in Tümpeln so häufigen kleineren Conferva-Arten. Derselbe ist für solche auch schon von Schmitz[1]) und Kolderup-Rosenvinge[2]) beschrieben worden.

Wie aus unserer Abbildung hervorgeht, besteht die Membran jeder Zelle zunächst aus zwei Theilen, die wie zwei Schachteldeckel übereinandergreifen. Die aneinanderstossenden Hälften der Membranen benachbarter Zellen, gehören dabei in der Weise zueinander, dass sie mit der eingeschalteten Querwand im optischen Längsschnitt eine H-förmige Figur bilden. Die Dicke der beiden Membranhälften nimmt von der Querwand gegen die Ränder zu allmählich ab. Um dies zu compensiren, wird nun der Innenseite der Membran vom Plasmaschlauch eine

1) Tageblatt der Naturf.-Versammlung zu Magdeburg 1884.

2) Siehe Strasburger, Zellhäute. S. 37 (Ulothrix tenerrima).

Celluloseröhre aufgelagert, welche nicht ganz bis zum Ende der Zelle reicht und nach der Zellmitte zu umgekehrt allmählich an Dicke zunimmt. Bei der Zelltheilung geht aus diesem inneren Cylinder wieder ein ebensolches H-förmiges Stück hervor, als wir es oben als zwei Zellen angehörig beschrieben haben. Indem die beiden Hälften der alten Membran sich bei der Verlängerung des Fadens schliesslich vollständig auseinanderschieben, kommt das innen durch Apposition angelagerte Stück selber mehr und mehr frei an die Fadenoberfläche zu liegen.

Nach jeder Zelltheilung wechselt der Ort der weiteren Ablagerung neuer Cellulosecylinder sprungweise. Es begreift sich leicht, worauf das beruht, da ja auch die gesammte Symmetrie des Plasmakörpers dabei demselben Schicksal unterliegt. Membransubstanz wird hauptsächlich da ausgeschieden, wo in der Zellmitte der Kern der Membran gegenüberliegt, von hier aus nach den Zellenden zu aber in allmählich geringer werdender Menge.

Das ganze Verhalten erinnert, wie man sieht, sehr an das, was wir für die Diatomeen schon seit längerer Zeit kennen.

Ich habe nun zunächst noch bei verschiedenen Florideen schöne Beispiele ganz entsprechender intercalarer Wachsthumsvorgänge gefunden. So in den Gliederzellen von Callithamnion thujoides. Nach Zusatz von Essigsäure zu dem lebenden Object zeigte die Membran den in Fig. 1, Taf. VII wiedergegebenen Bau.

Ganz ähnlich verhalten sich auch C. Borreri und Antithamnion cruciatum. Von letzterer gibt Fig. 2, Taf. VII eine Skizze.

Die Vegetationszone liegt hier, wie man sieht, in der Nähe der Zellbasis, was auch schon daraus hervorgeht, dass sich während der intercalaren Verlängerung die Insertionsstelle der Blätter nur wenig von dem oberen Zellende entfernt. Ebendieselbe Structur zeigte mir auch die Membran der langgestreckten Internodialzelle eines nicht näher bestimmten Ceramium in ausgezeichneter Weise. Umgekehrt liegt bei Griffithia opuntioides und anderen Arten dieser Gattung die Vegetationszone dicht unter dem oberen Zellende. Das ergibt sich auch schon aus der nach oben sich tonnenförmig ausbauchenden Gestalt dieser Gliederzellen.

Entsprechenden Membranbau constatirte ich nun noch für Polysiphonia pennata und elongata, wenn auch die erhaltenen Bilder hier nicht so klar waren, wie in den obigen Beispielen. Bei Dasya elegans, Crouania bispora, Monospora und Ectocarpus siliculosus erhielt ich dagegen, bei vorläufiger Untersuchung, noch keine sicheren Resultate.

Auch andere Süsswasseralgen dürften in dieser Frage noch interessante Aufschlüsse bei eingehenderer Untersuchung ergeben. Zygnema cruciatum schien mir ein Verhalten zu zeigen, welches im wesentlichen dem von Conferva und den erwähnten Florideen entspricht. Bei Spiro-

gyra princeps soll nach Hofmeister[1]) eine mittlere, breitere Vegetationszone vorhanden sein, da die Membran ihm hier geringere Doppelbrechung zeigte.

Wir fanden oben, dass mit der Aenderung der Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers am Vegetationspunkte auch die Formverhältnisse wechseln. Das trifft auch für intercalar wachsende Zellformen zu. So werden z. B. die im vegetativen Zustande cylindrischen Gliederzellen tonnenförmig aufgetrieben in Spirogyrafäden, wenn sie sich zur Copulation anschicken, bei Ulothrix, Hormidium, den Chaetophoreen, mit den ersten Vorbereitungen zur Schwärmerbildung u. s. w. Bei Beginn der Fructification tritt der Wandbeleg dieser Formen bekanntlich mehr oder weniger vollständig in das Innere des Zellraumes zurück.

Bei den oben besprochenen Florideen konnte ich im übrigen keine auffallenden Differenzen im Bau des plasmatischen Wandbelegs an den verschiedenen Theilen der Oberfläche der intercalar wachsenden Zellen auffinden. Nur bei Griffithia opuntioides traten die Zellkerne der jüngeren Gliederzellen auch in der intercalaren Vegetationszone am oberen Zellende, wie am terminalen Vegetationspunkt, über die Chlorophyllschicht hervor, wenn auch nicht so vollständig wie dort. Doch dürften wohl in der Regel geringe Unterschiede in der Dicke oder der Zusammensetzung des Wandbelegs, welche sich dem mikroskopischen Nachweis entziehen, vorhanden sein. Nothwendig erscheint unter den vorliegenden Verhältnissen indessen eine solche Annahme nicht. Denn ist einmal nach dem Beginn des intercalaren Längenwachsthums in der Zellmembran die mittlere weniger widerstandsfähige Zone aus irgend welchen in der Symmetrie der Zelle liegenden Gründen aufgetreten, so erklärt es sich ohne Schwierigkeit, dass weiterhin nur diejenigen Stellen dem Turgordruck nachgeben, an welchen die neu ausgeschiedenen Membranpartien sich den älteren innen anlegen. Denn hier ist der organische Zusammenhang der Schichten unterbrochen und darum ein Gleiten derselben aufeinander ermöglicht.

Wir haben zwar oben erwähnt, dass auf die Mechanik der Formbildung der im Gewebeverbande stehenden Zellen hier nicht näher eingegangen werden soll. Es mögen indessen zum Schluss doch noch einige Ausführungen hier Platz finden, welche sich wesentlich auf die im Laufe dieses Kapitels schon eingehender behandelten Epidermiszellen beziehen.

---

1) Lehre von der Pflanzenzelle. S. 219.

Wenn an im Gewebeverbande befindlichen, im Wachsthum begriffenen Zellen Vegetationspunkte und Vegetationszonen mit den übrigen Theilen gegenüber gesteigerter Wachsthumsthätigkeit auftreten, so sind zwei Fälle möglich. Einmal können die stärker und schwächer oder gar nicht wachsenden Partien in den benachbarten Zellen in der Weise gesetzmässig miteinander abwechseln, dass bei der ungleichmässigen Volumvergrösserung der einzelnen Theile gegenseitige Compensation eintritt. Die Zellen schieben sich dann zwischen einander ein, bleiben aber in festem Verbande. Ist aber dieses nicht der Fall, liegen vielleicht die Stellen geringerer und stärkerer Wachsthumsfähigkeit der Membranen einander gegenüber, oder sonst unregelmässig vertheilt, so müssen an den schwächer wachsenden Stellen Continuitätstrennungen auftreten, die Zellen sich voneinander ablösen.

Aus dem letzteren Verhalten erklären sich viele Intercellularraumbildungen, die gerade bei den mit nach innen vorspringenden Leisten versehenen Epidermiszellen der Blumenblätter oft sehr auffallende Formen annehmen, und welche dadurch und durch den Ort ihres Vorkommens besonderes Interesse erregt haben. Köhne[1]) und Hiller[2]) haben neuerdings, wie schon früher erwähnt, diese Verhältnisse näher untersucht und eine Reihe von Einzelfällen abgebildet. Der Letztere hat dabei auch nähere Angaben über die entwicklungsgeschichtlichen Verhältnisse, allerdings ohne Berücksichtigung des Plasmakörpers gemacht.

Köhne bildet die in Rede stehenden Intercellularlücken ab für Lythrum Salicaria, Stachys palustris, Sambucus, Myosotis u. a. (Taf. II, 5, 6, 7, 8, 9, 25, 26), Hiller für Linum, Clarkia, Anchusa, Veronica u. a. (Taf. XXII, 1, 2, 3, 6; XXIII, 1, 2, 3).

Es kann nun nach unseren früheren Ausführungen nicht zweifelhaft sein, dass auch in diesen Fällen die betreffenden Leisten in Plasmalamellen gebildet sind, und dass auch in ihrer unmittelbaren Umgebung der plasmatische Wandbeleg dicker sein musste als an den entfernteren Theilen der Zelloberfläche. An einem aufs Gerathewohl herausgegriffenen Object, das mit vielen anderen Formen entsprechende gespaltene innere Wandvorsprünge, wenn auch an anderer Stelle zeigt, habe ich mich davon auch überzeugen können. In den Blattstielen von Heteranthera reniformis treten zwischen den Zellen der querverlaufenden Diaphragmen der Luftcanäle, wie bekanntlich auch bei vielen anderen Wasserpflanzen, ganz ähnlich gestaltete Intercellularlücken auf, welche sich auch in ähnlicher Weise wie in den Blumenblattepidermen bilden. Wie Fig. 6, Taf. VII zeigt, besitzt der Plasmakörper dieser Zellen während der Entwicklung der vorliegenden Bildungen polycentrische Sym-

1) Ber. d. deutsch. botan. Ges. Bd. 2. 1884.
2) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 15.

metrie und an die Leisten, die schon theilweise mehr oder weniger gespalten sind, setzen sich die Plasmafäden an.

Findet nun in den vorliegenden Zellen, nachdem der Plasmakörper die betreffenden Symmetrieverhältnisse angenommen hat und die Leisten aufgetreten sind, noch Wachsthum statt, so ist die Trennung der Zellen da, wo die Leisten sich ansetzen, die mehr oder weniger vollständige Spaltung dieser letzteren selbst die nothwendige Forderung, wenn dem Dehnungsbestreben Folge gegeben wird. Denn diese letzteren Partien werden dem Turgordruck in geringerem Grade nachgeben, als die übrigen dünneren Wandtheile, welche sich infolge dessen vorstülpen müssen. Auf entsprechender Mechanik beruht ohne Zweifel die Entwicklung des Sternparenchyms im Marke der Juncaceen, des lacunösen Schwammparenchyms in den Blättern, und wir würden die Spaltung solcher inneren Wandleisten gewiss viel allgemeiner auftreten sehen, wenn nicht ihre Ausbildung in der Regel erst dann erfolgte, wenn die betreffenden Zellen ihr Wachsthum im wesentlichen eingestellt haben.

Indessen glaube ich doch nicht, dass die Ausbildung aller Intercellularräume auf die besprochene Mechanik zurückzuführen ist. Die schmalen dreieckigen Räume, wie sie so häufig im farblosen Parenchym der Rinde und des Markes auftreten, verdanken vielleicht ganz allein, neben den Wachsthumsvorgängen, dem Abrundungsbestreben der betreffenden Zellen ihre Ausbildung.

Hinzuweisen ist noch darauf, dass die besprochenen Leisten bei der Spaltung in zwei Lamellen sich genau so verhalten, wie jede Zellmembran, und in der That zeigen sie auch genau denselben symmetrischen Bau wie diese, nämlich eine Mittellamelle, die seitlich von zwei stärker lichtbrechenden Lamellen eingeschlossen ist. Die besprochenen Leisten sind aus diesem Grunde auch in vielen Fällen als „Membranfalten“ bezeichnet worden, so z. B. die der assimilirenden Zellen der Pinusblätter, die bei manchen Spirogyren beiderseits auf den Querwänden auftretenden ringförmigen Membranleisten, welche sich bekanntlich bei der Isolirung der Zellen in zwei Lamellen spalten und nach aussen vorstülpen u. s. w. Auch bei Tolpis umbellata, Phacelia circinnata, Eutoca viscida konnte ich mich nach kurzer Einwirkung von Chromsäure davon überzeugen, dass die inneren Leisten der Epidermiszellen den Bau von „Membranduplicaturen“ besitzen.

Ein anderes Endresultat der Wachsthumsvorgänge ergibt sich, wenn der erste der oben am Anfang dieses Abschnittes erwähnten Fälle vorliegt, d. h. wenn stärker und schwächer dehnbare Partien der Zellwände zweier aneinanderstossender Zellen in regelmässiger Weise miteinander abwechseln. Dann nehmen die Zellwände gewellten und geknickten Verlauf an und die einzelnen Zellen schieben sich ohne Continuitätstrennung in mannigfaltiger Weise ineinander ein, wie das ebenfalls die

Blumenblattepidermen oft so schön zeigen. Treten in diesen Fällen Leisten und andere innere Vorsprungsbildungen auf der Membran auf, so stehen sie sich nicht gegenüber, wie das sonst ganz allgemein mit den Wandskulpturen aneinanderstossender Zellen der Fall ist, sondern alterniren in regelmässiger Weise. In den Epidermiszellen der Blumenblätter ist diese Alternanz, der Häufigkeit der Wandwellung halber, das gewöhnlichere Verhalten, aber nicht selten findet man in derselben Zelle, oder in unmittelbar benachbarten beide Fälle und Uebergänge zwischen ihnen vor. So z. B. bei Hypericum perforatum nach Koehne (a. a. O. Taf. II, 20. Vergl. die Copie Tafel VI Fig., 7 a). Diese Thatsachen, sowie der Umstand, dass die Opposition der Verdickungen sonst in allen Pflanzenzellen mit nicht gewellten Wänden die Regel ist, beweisen, dass in den vorliegenden Fällen die Alternanz ein aus dem normalen abgeleitetes Verhalten ist. Das Auftreten der Wandwellung sowohl, wie der alternirenden Leisten findet nun bei Berücksichtigung der stattfindenden Verhältnisse unschwer seine mechanische Erklärung. Wir dürfen annehmen, dass auch in den vorliegenden Zellen, wie sonst gewöhnlich, die Symmetrieverhältnisse der Plasmakörper der aneinanderstossenden Zellen sich entsprechen, dass also die an die Wände sich ansetzenden Plasmafäden opponirt sind, und dass sich infolge dessen auch hier zunächst die stärker und weniger stark dehnbaren Wandpartien entsprechen. Bei der weiteren Volumzunahme der Zellen wird dann, wie schon oben ausgeführt, auf die widerstandsfähigeren Wandpartien ein nach innen gerichteter Zug ausgeübt werden, ein Zug, der in den früher besprochenen Fällen zur Bildung der Intercellularlücken führte. Es ist aber wahrscheinlich, dass sich sehr leicht geringe Differenzen in der Festigkeit der sich entsprechenden Membrantheile der benachbarten Zellen werden ausbilden können, und in diesem Falle muss das Resultat der erwähnten Zugkräfte eine mehr oder weniger regelmässige Wellung der Membran sein, nicht eine Continuitätstrennung. Sind aber die Anfänge einer solchen Wandwellung einmal aufgetreten, so werden sich die durch das Zelllumen ausgespannten Bänder und Fäden des polycentrischen Plasmakörpers schon aus rein mechanischen Gründen dorthin verschieben müssen, wo die Membran convex gegen die Zellhöhlung vorgewölbt ist. Der Erfolg dieser Umlagerungen im Plasmakörper wird aber der sein müssen, dass nun die einmal eingeleitete Wellung der Membran durch das weitere Wachsthum nur verstärkt werden kann, und dass später etwa entstehende Membranleisten dem Scheitel der convexen Wandpartien sich aufsetzen müssen.

Nehmen aber in diesen Fällen die verdickten Membranpartien den überwiegenden Theil der Wandfläche ein, so entstehen excentrisch verdickte Wände und alternirende Tüpfelbildungen, wie z. B. in den Epi-

dermen der Blätter und Halme von Gräsern, Juncaceen, Cyperaceen[1]). Der unverdickten Partie der Wand in der einen Zelle liegt also die verdickte in der benachbarten gegenüber, und dieser Umstand scheint mir nun den Grund abzugeben für eine in diesen Fällen sehr allgemein auftretende eigenthümliche Ausbildung der Form der betreffenden Tüpfel. Es pflegt nämlich diejenige Partie der Zellwand, welche der verdickten Wandpartie der benachbarten Zelle unmittelbar gegenüberliegt, ebenfalls etwas verdickt zu werden. Am dünnsten bleiben aber zwei seitlich gelegene Stellen, welche zwei entsprechenden, aber zu verschiedenen Tüpfeln gehörigen unverdickten Stellen der Wand in der Nachbarzelle gegenüberliegen. Die betreffenden Tüpfel sind also gegabelt.

Es liegt nahe, diese Einschiebung einer kleinen Wandverdickung in die Basis des Tüpfels auf jenes allgemeine Bestreben der Pflanze, die verdickten und unverdickten Wandpartien mit einander in Opposition zu bringen, zurückzuführen, welchem aber bei den vorliegenden Objecten, wegen des überwiegenden Einflusses, den die Wandwellung auf die Vertheilung des Plasmakörpers der Zellen gewinnt, so nur in beschränktem Masse Folge gegeben werden kann.

Wir sehen die gesammten Wachsthumsvorgänge, die Ausgestaltung der Formen von Zellen und Organen, die Richtungen, nach denen Wachsthum stattfindet, die Neubildung von Vegetationspunkten u. s. w. in mannigfachster Weise von äusseren Factoren abhängen. In dem einen Falle sind es Ungleichmässigkeiten des Mediums, Zusammensetzungsdifferenzen, verschiedener Feuchtigkeitsgehalt, dann wieder Temperatur- oder Beleuchtungsdifferenzen, oder auch einseitige Beeinflussung durch die Schwerkraft oder durch berührende Substanzen, die hierbei von massgebender Bedeutung werden. Nach unseren früheren Ausführungen über die Abhängigkeit der Symmetrie der Plasmakörper von diesen Factoren und nach den hier über die Mechanik der Formbildung entwickelten Anschauungen können alle diese Beziehungen, so unbekannt uns auch im Einzelfalle die Art der Verknüpfung von Ursache und Wirkung ist, im Princip einer mechanischen Auffassung Schwierigkeiten nicht darbieten.

Ungleichmässigkeiten im umgebenden Medium sind es, welche die Schläuche saprophytischer Saprolegnien veranlassen, nach im Wasser faulenden todten Organismen hinzuwachsen und welche auch ohne Zweifel den Ausschlag dafür geben, dass die Keimschläuche und Mycelfäden

---

1) Anmerk. Es geht aus den hier gegebenen Erörterungen hervor, dass ich die Auffassung, die Ambronn (Pringsh. Jahrb. Bd. 14. S. 82 ff.) zur mechanischen Erklärung dieser Tüpfelbildungen entwickelt hat, nicht acceptiren kann.

parasitischer Pilze nur in gewisse Substrate und nur an ganz bestimmten Stellen derselben eindringen.[1]) Den Befruchtungsfäden, welche bei Dudresnaya, Halymenia und und den anderen Cryptonemiaceen aus beträchtlichen Entfernungen in gerader Richtung auf die Auxiliarzellen zuwachsen, muss durch entsprechende Zusammensetzungsdifferenzen des Mediums diese Richtung angezeigt werden. Wir brauchen aber in diesen letzteren Fällen gar nicht einmal zu der Annahme zu greifen, dass die betreffenden Auxiliarzellen, wie die Eier vieler Kryptogamen dies nach Pfeffer's[2]) interessanten Untersuchungen thun, bestimmte Stoffe ausscheiden, die sich durch Differenzen im Thallus verbreiten, obwohl diese Annahme auch für die vorliegenden Objecte nicht unwahrscheinlich sein dürfte. Schon die Lage und Vertheilung der Auxiliarzellen durch den Thallus müssen Symmetrieverhältnisse in den Thallomen bedingen, welche in, die Auxiliarzellen umgebenden, concentrischen Schichtungen ihren Ausdruck finden, und die Orientirung der Wachsthumsrichtung der Befruchtungsfäden müssen hervorrufen können.

Auch jene gesetzmässigen Krümmungen, welche die jungen Seitenorgane mitsammt den Haupttrieben in der Scheitelregion vieler Algen, wie Polysiphonien, Callithamnien, Ceramien u. s. w. zeigen, und auf welche ich vor einigen Jahren ausführlicher hingewiesen habe[3]), dürften an dieser Stelle zu nennen sein. Wie an dem betreffenden Orte gezeigt wurde, stehen diese Krümmungen in ganz bestimmten Beziehungen zu den benachbarten Organen, indem die concaven Seiten immer einander zugewandt werden. Ich hatte damals versucht, diese Ungleichmässigkeiten des Wachsthums, welche, wie sich ergab, nicht erblicher Natur sein konnten, aus einer ungleichmässigen Zufuhr der Nährstoffe nach den einzelnen Querschnittspartien der Fäden, zufolge der Ablenkung von ihrer geraden Richtung abzuleiten. Schon Askenasy[4]) hat diese Auffassung, wie ich jetzt glaube mit Recht, in seinem Referat über die betreffende Arbeit angefochten. Näher liegend scheint mir jetzt folgende Auffassung über die Mechanik des Vorganges zu sein. Die ungleichmässige Wachsthumsintensität der verschiedenen Seiten der betreffenden Sprosse setzt entsprechende polare Symmetrieverhältnisse in den Plasmakörpern ihrer Zellen voraus. Diese könnten nun ihre Entstehung und ihre bestimmte Orientirung zu einander einer nicht vollkommen radiären Querschnittsform der betreffenden Zellen verdanken. Für die Mutterzelle und die ihr ansitzende untere Astzelle ergeben sich ja solche Abweichungen des Querschnitts aus ihrer seitlichen Aneinanderfügung mit Nothwendigkeit. Den folgenden Zellen aber, welche,

1) Vergl. de Bary, Morphologie und Biologie der Pilze. Leipzig 1884. S. 393.
2) Unters. a. d. botan. Institut zu Tübingen. Bd. 1. Heft 3. 1884.
3) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 13. 1882.
4) Botan. Zeitung 1883. S. 560.

wie wir voraussetzen dürfen, wohl bald wieder radiäre Umrisse annehmen werden, könnte eine entsprechende Polarität nebst entsprechender Orientirung derselben durch den Einfluss der vorausgehenden Zellen inducirt werden. Wir können aber auch annehmen, dass durch den Stoffaustausch, der zwischen den am Scheitel benachbarten Organen und dem umgebenden Medium statthat, in letzterem polare Zusammensetzungsdifferenzen entstehen, welche, so gering sie auch vielleicht sein mögen, doch genügend wären, in den Zellen der benachbarten Triebe eine Polarität der Plasmakörper und eine bestimmte Orientirung derselben zu veranlassen.

Vielleicht treffen beide der hier besprochenen Möglichkeiten zu, unterstützen sich beide in ihren Wirkungen. Möglicherweise ist aber auch die Mechanik nach den Einzelfällen eine verschiedene, trotz der äusserlich übereinstimmenden Effecte.

Differente Zusammensetzung des umgebenden Mediums, speciell wohl Feuchtigkeitsdifferenzen in den meisten Fällen, dürften auch wohl die Ursache sein, dass Haarbildungen so oft ganz bestimmte Richtungen zu der Oberfläche der Organe, auf denen sie stehen, annehmen, entweder senkrecht oder schräg von ihnen hinwegwachsen, oder sich auch parallel zu ihrer Oberfläche ausbreiten, wie die bekannten Schuppen der Elaeagnusarten, oder die Haare in den Lufträumen von Aroideen u. s. w.

Auch wenn wir die Wachsthumsrichtung und die Wachsthumsweise von Organen durch Berührung mit fremden Objecten modificirt finden, müssen die entsprechenden zu Grunde liegenden Modificationen der Symmetrie der Plasmakörper als unschwer ableitbar erscheinen. Denn der Contact muss ja sowohl die Gasdiffusion, wie auch die Transpiration und andere auf die Wechselwirkung mit der Aussenwelt etwa angewiesene Stoffwechselvorgänge in bestimmter Weise beeinflussen. Es ist auch möglich, dass der primäre Effect des Contactes ein rein mechanischer ist, indem in den betreffenden Plasmakörpern bestehende labile Gleichgewichtszustände durch ihn zum Zusammenfall gebracht werden.

Da der Chemismus innerhalb der Pflanze vom Licht in mannigfachster Weise und nicht allein in assimilirenden Organen und Zellen beeinflusst wird, so ist es verständlich, wie auch die Form derselben vielfach in massgebender Weise von den Variationen der Beleuchtung abhängig ist. Denn auch die Symmetrie des Plasmakörpers der sich entwickelnden Zellen wird unter diesen Umständen in wesentliche Abhängigkeit zu den Variationen der Beleuchtung treten, und damit auch wieder die Ausgiebigkeit und die Modalitäten des Wachsthums nach den verschiedenen Richtungen. So verstehen sich im Princip die Formänderungen der Pflanzen beim Etiolement, die Fähigkeit der Blätter und anderer assimilirender Pflanzentheile ihren Bau den Variationen

der Beleuchtungsintensität anzupassen, die Thatsache, dass vielfach der Ort der Anlage von Seitenorganen von der Richtung des einfallenden Lichtes abhängig werden kann, wie meine Untersuchungen an Antithamnion, Pterothamnion und Spermothamnion[1]), die von Sachs[2]) für das Protonema von Funaria beweisen. Bei diesen Formen werden die Seitenzweige bei einseitiger Beleuchtung alle in einer zum einfallenden Licht senkrechten Ebene angelegt, während sie bei allseitiger Beleuchtung nach allen Richtungen unregelmässig divergiren. Es erklärt sich auch, wie einseitige Beleuchtung bei verschiedenen Lebermoosen, bei Coniferenzweigen u. s. w. Dorsiventralität labil oder stabil induciren kann, und ähnliche Fälle mehr. Warum solche durch äussere Factoren inducirte Dorsiventralität in vielen Fällen nicht wieder rückgängig zu machen ist, liegt auf der Hand. Denn unter der Herrschaft der durch das äussere Agens im Plasmakörper der in Entwicklung begriffenen Organe hervorgerufenen Symmetrieverhältnisse entstehen ganz bestimmte äussere Formen und ganz bestimmte feste innere Organisationsverhältnisse, wie Anordnungen der Zellwände, der Verdickungen, Vertheilung der Plasmamassen auf verschiedene Gewebe u. s. w., die als integrirende Factoren in den Verlauf aller später erfolgenden Entwicklungsvorgänge eingreifen müssen. Dass solche polare, durch äussere Agentien inducirte Symmetrieverhältnisse, auch wenn sie anfangs stabil zu sein scheinen, dennoch oft durch länger andauernde, in entgegengesetzter Richtung wirkenden Einflüsse wieder rückgängig gemacht werden können, hat neuerdings Sachs[3]) an Opuntien gezeigt, bei denen nach einigen Jahren der durch die Schwerkraft inducirte Gegensatz zwischen Spitze und Basis umgekehrt werden konnte, nach entsprechender umgekehrter Orientirung der Triebe gegen den Horizont.

In welcher Weise wir uns die Beeinflussung der Symmetrieverhältnisse der Plasmakörper durch das Licht zu denken haben werden, dafür geben neben älteren Untersuchungen besonders die Arbeiten von Stahl[4]) Aufschluss, wenn diese sich auch nur auf die in entwickelten Zellen zur Beobachtung kommenden Effecte beziehen. Schon früher haben wir diese Verhältnisse eingehender besprochen.

Es würde müssig sein, hier noch weiter bei einer eingehenden Besprechung der Beeinflussung der Wachsthumsvorgänge durch äussere Factoren zu verweilen. Nur auf die Wirkungsweise der Schwerkraft mag hier darum, im Anschluss an das Vorhergehende, und an das, was im vierten Kapitel über ihre Beziehungen zur Symmetrie der Plasmakörper gesagt wurde, noch mit einigen Worten eingegangen werden.

1) Pringsh. Jahrbücher. Bd. 13. 1882.
2) Vorlesungen. S. 640.
3) Arbeiten des Würzburger botan. Instituts. Bd. 2.
4) Botan. Zeitung 1880.

Die entgegengesetzte Wirkung, welche die Schwerkraft auf die entgegengesetzten Seiten geotropisch empfindlicher Organe ausübt, kann unmöglich auf Intensitätsdifferenzen derselben an Ober- und Unterseite der betreffenden Organe zurückgeführt werden. Zwar glaubt Pfeffer[1]), eine so enorme Empfindlichkeit der betreffenden Pflanzentheile, als dafür nöthig wäre, sei nicht unmöglich. Aber es bedarf einer so wenig wahrscheinlichen Annahme gar nicht, um diese differenten Reactionen verständlich zu finden. Nicht die verschiedene Intensität, mit der die Schwerkraft auf die Ober- und Unterseite des Organs einwirkt, gibt den Ausschlag, sondern die verschiedene Richtung, in der sie in den beiden Hälften zur Wirkung kommt. Die betreffenden Organe zeigen ganz bestimmte Symmetrieverhältnisse, Stengel und Wurzel sind z. B. centrisch gebaut und organisirt. In der Oberseite des horizontal gelegenen Organs wirkt nun die Schwerkraft von der Peripherie gegen das Centrum des Organs, in der Unterseite aber umgekehrt vom Centrum gegen die Peripherie, an den Seiten schliesslich in tangentialer Richtung. Das sind Unterschiede von so fundamentaler Bedeutung, mag es sich nur um einzelne Zellen, oder um complicirter gebaute Gewebekörper handeln, dass sie gewiss genügend erscheinen müssen, die verschiedene Reaction der beiden Seiten zu begründen.

Ganz dieselbe Auffassung gilt natürlich auch für die Ableitung der Reactionen heliotropischer Organe auf einseitige Beleuchtung. Sachs[2]) hat daher recht, wenn er annimmt, dass es dabei weniger auf die Intensitätsdifferenzen in der Beleuchtung der beiden Seiten der betreffenden Organe, als auf die Richtung ankomme, in welcher die Lichtstrahlen den Pflanzentheil durchsetzen. Möglicherweise sind beim Heliotropismus jedoch beide Factoren, vielleicht auch nach den Einzelfällen in wechselnder Weise, von Bedeutung.

Näher auf alle diese Fragen jetzt einzugehen, ist wenig angezeigt, so lange noch nicht eine grössere Menge thatsächlichen Beobachtungsmaterials vorliegt. Die nöthigen Untersuchungen nach dieser Richtung haben ja kaum begonnen. Einige, freilich zu wenig eingehende Mittheilungen, hat neuerdings Kohl[3]) hierüber gemacht, nachdem schon früher Cisielski[4]) angegeben, dass er an geotropisch gekrümmten Wurzeln die Zellen der Unterseite mit Plasma angefüllt gefunden habe.

Nach Kohl's Angaben liegt bei hydrotropisch sich krümmenden Fruchtträgern von Phycomyces die Hauptmasse des Plasmakörpers der concav sich krümmenden, also schwächer wachsenden Seite der Zellwand an. In den negativ heliotropischen Haaren am Hypocotyl von

1) Pflanzenphysiologie. II. S. 331.
2) Vergl. bes.: Vorlesungen. S. 851.
3) Botan. Hefte von A. Wigand. I. S. 161.
4) Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen I. 2. S. 24.

Sinapis alba erweist sich nach ihm auch das Zellplasma als negativ heliotropisch.

Ich hatte bisher noch nicht die Gelegenheit, die kurzen Angaben von Kohl auf ihre Richtigkeit selber zu prüfen. Nach Allem, was auf den vorstehenden Blättern über die Beziehungen zwischen der Lagerung des Protoplasmakörpers und der Wachsthumsintensität der einzelnen Membranpartien einer Zelle gesagt worden ist, müssen sie mir als zutreffend erscheinen. Ich musste in der That ein solches Verhalten nach dem mir bekannten Verhalten der Vegetationspunkte u. s. w. schon vor dem Erscheinen von Kohl's Notiz vermuthen.

NEUNTES KAPITEL.

Freie Zellbildung.

Als „freie Zellbildungen" sollen hier auf Grundlage der nachfolgenden Untersuchungen alle diejenigen Zellbildungsvorgänge bezeichnet werden, bei denen die in Ein- oder Mehrzahl aus einer ursprünglichen Zelle hervorgehenden Tochterzellen von Anfang an mit der Mutterzelle nicht im Gewebeverband befindlich sind. Wie schon im sechsten Kapitel auseinandergesetzt wurde, werden dadurch die Zellbildungsvorgänge in den Embryosäcken, die Strasburger[1]) ebenfalls hierherzieht, von dem Begriff der freien Zellbildung ausgeschlossen.

Die freie Zellbildung findet sich als Regel bei den Zellbildungsvorgängen, bei denen die reproductiven Zellen des pflanzlichen Organismus entstehen, resp. bei welchen deren Entstehung vorbereitet wird. Freilich kommt sie auch sonst gelegentlich vor, so in den befruchteten Eizellen von Ephedra und Gingko nach Strasburger[2]) und andererseits entstehen bekanntlich nicht selten reproductive Zellen durch Abschnürung und durch Isolirung im Gewebeverbande befindlicher Zellen.

Die reproductiven Zellen können in der verschiedensten Weise gebildet werden. Oft gehen sie direct aus vegetativen Zellen hervor, wie bei der Fructification vieler Algen — Schwärmerbildung von Oedogonien, Hydrodictyon, Cladophora u. s. w. —, oft erst aus besonderen eigens zu diesem Zwecke durch Theilung gebildeten Zellen oder Zellgruppen — Asci, uniloculäre Sporangien der Phaeosporeen, pluriloculäre derselben Algengruppe u. s. w. —. In wieder anderen Fällen sind es vorher entstandene freie Zellen, welche erst weiterhin reproductive freie Zellen bilden, entweder nachdem sie vorher durch gewöhnliche Zelltheilung weiter zerfallen sind — Pollen- und Sporenmutterzellen —, oder indem in ihnen nochmalige freie Zellbildung stattfindet — Sporen von Acetabularia, Botrydium — Rozella nach Fischer.[3])

1) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. Jena 1880.
2) Zelltheilung und Protoplasma. Jena 1875.
3) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 12. 1881.

Mit verschwenderischer Mannigfaltigkeit sind in der Natur diese Vorgänge ins Werk gesetzt, dem bei den verschiedensten Gelegenheiten immer von neuem wieder auftauchenden Bedürfniss nach Erzeugung nicht im Gewebeverbande stehender Zellen ist in der verschiedensten Weise entsprochen worden. Nur eine detaillirte Betrachtung einer Reihe von Einzelfällen wird es uns ermöglichen, neben den zahlreichen und interessanten Variationen die gemeinsamen Züge dieser Vorgänge zu erkennen und uns damit das Wesentliche von dem Nebensächlichen und Zufälligen zu trennen erlauben.

Am einfachsten und dem mechanischen Verständniss am leichtesten zugänglich ist jener Fall der Zellverjüngung, den Strasburger mit dem Namen der Vollzellbildung belegt hat. Als solche bezeichnet Strasburger diejenigen Vorgänge, bei denen aus dem gesammten Inhalte einer Zelle eine wirklich neue Zelle gebildet wird. Indem ich mich dieser Definition im wesentlichen anschliesse, kann ich doch nicht umhin, der Gleichartigkeit der stattfindenden inneren Vorgänge wegen, auch die Verjüngung der Sporenmutter- und Sporenzellen der Gefässkryptogamen, der Pollenmutter- und Pollenzellen der Phanerogamen, sowie die einfache Häutung der Sporen der Saprolegnien und ähnliche Vorgänge hierherzuziehen, welche Strasburger ausgeschlossen hatte.

Das Wesentliche des Vorganges beruht in allen diesen Fällen auf der Ablösung des gesammten Plasmakörpers der sich verjüngenden Zellen von der alten Membran unter Contraction desselben. Dieser Vorgang ist mit fundamentalen Aenderungen der Symmetrieverhältnisse der betreffenden Zellen verbunden, indem die ursprünglich vorhandene normale Schichtung eine Zeitlang in die inverse übergeht, um erst weiterhin sich definitiv wieder herzustellen.

Dass bei Oedogonium und Bulbochaete sich der Beginn der Schwärmerbildung durch Zurückweichen des Inhalts von den Ecken der Zellen bemerkbar macht, wurde schon von Pringsheim [1]) angegeben. Strasburger [2]) hat dann weiter beschrieben, wie der anfangs central gelegene Zellkern dabei durch den chlorophyllführenden Theil des Wandbelegs hindurch nach aussen rückt, um sich später von hier wieder zurückzuziehen.

Ich kann nach Untersuchungen an einigen Oedogonien und einer ebenfalls nicht näher bestimmten Bulbochaete-Art die Angaben dieser beiden Forscher bestätigen, habe aber weiterhin noch die entsprechenden Vorgänge bei der Bildung und Befreiung der Pollenmutter- und Pollenzellen und der Sporenmutter- und Sporenzellen von Gefässcryptogamen etwas näher studirt.

1) Jahrbücher für wiss. Botanik. Bd. 1.

2) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. S. 81.

In den Pollenmutterzellen von Tradescantia virginica findet man vor ihrer Trennung voneinander den grossen Kern im Centrum der Zelle, umgeben von hellem Plasma. Die in ziemlicher Menge vorhandenen kleinen Stärkekörnchen liegen in einer hohlkugligen Schicht ziemlich dicht unterhalb der sehr zarten Membran. Der Plasmakörper zeigt also normale, monocentrische Schichtung. Sobald nun die alte Membran gelöst werden soll, zieht er sich von ihr etwas zurück, der Kern liegt jetzt stark einseitig der Oberfläche genähert. In ihm haben zu dieser Zeit schon die Umlagerungsvorgänge begonnen, welche der Theilung vorhergehen, die Fadenmasse ist oft schon zu einem Knäuel zusammengeballt in die Mitte der stark vergrösserten Kerngrundsubstanz gerückt. Die stärkeführende Plasmaschicht hat sich ganz einseitg zusammengezogen, sie liegt dem Kern an der inneren Seite dicht auf und zeigt auf dem optischen Querschnitt mondsichelförmige Gestalt (Taf. III, Fig. 12). An seiner gesammten Oberfläche ist der contrahirte Plasmakörper hyalin und äusserst zart nach aussen abgegrenzt. Während nun die alte frei der ausgetretenen Flüssigkeit eingelagerte Membran sich löst, wird an der Peripherie des contrahirten Zellinhalts wieder eine neue zarte Membran sichtbar, nachdem unmittelbar vorher in ihm die Umlagerungsvorgänge begonnen haben, durch welche die inverse Symmetrie wieder in die normale übergeht. Während dieser Vorgänge findet man eine Zeitlang die Stärke durch den ganzen Raum zwischen dem Zellkern, der sehr bald wieder in die Zellmitte getreten ist, und der neuen Membran vertheilt.

Freiwerdende Sporenmutterzellen von einigen näher untersuchten Farnen (Blechnum glandulosum, Aspidium trifoliatum, Serra) verhielten sich genau ebenso, sodass ich einfach auf die für Tradescantia gegebene Beschreibung verweisen kann.

Das Wesentliche des besprochenen Vorganges der Vollzellbildung beruht also in der Contraction des Plasmakörpers verbunden mit der Umkehrung der Symmetrieverhältnisse desselben und Wiederherstellung der ursprünglichen normalen Schichtung nach Befreiung von der alten Membran.

Die Contraction des Plasmakörpers bedarf als auf einer mit Flüssigkeitsabgabe verbundenen Aenderung des physikalischen Gleichgewichts beruhend keiner weiteren mechanischen Erklärung. Die ausgeschiedene Flüssigkeit verdrängt dann den Plasmakörper von der Zellwand. Die Aenderungen der Symmetrieverhältnisse des Plasmakörpers wären entsprechend den Ausführungen im vierten Kapitel auf während der Zeit sich einstellende Variationen (quantitativer und qualitativer Natur) im Chemismus des Plasmakörpers und die damit verbundenen Diffusionsvorgänge zurückzuführen. Die ursprüngliche Zellmembran kommt durch diese Vorgänge in eine mit dem Zellsaft zu homologi-

sirende Flüssigkeit zu liegen und dieser Umstand dürfte der Grund für ihre Lösung sein. Vermuthlich ist in der betreffenden Flüssigkeit ein celluloselösendes Ferment schon vorhanden, oder es wird vielleicht zu diesem Zwecke in ihm gebildet.

Die Wiederherstellung der normalen Symmetrie vor der Neubildung der Membran hat den Zweck, die Ablagerung der Cellulose in einer peripherischen hohlkugligen Schicht zu ermöglichen, denn es kann nicht zweifelhaft sein, dass bei fortdauernder inverser Symmetrie der betreffenden Plasmakörper alle eventuell zur Ausscheidung kommende Cellulose sich im morphologischen Centrum der Zelle in Form einer compacten Masse würde ablagern müssen.

Bei Oedogonium und Bulbochaete ist die Wiederherstellung der normalen Schichtung im contrahirten Plasmakörper verbunden mit der definitiven Constituirung des Schwärmers, aber zunächst noch nicht mit Ausbildung einer neuen Cellulosemembran verknüpft, da die Zellen erst ein bewegliches Stadium durchzumachen haben. In vielen, später näher zu besprechenden Fällen, ist das Wiedereintreten der normalen Schichtung auch durch eine bedeutendere Zunahme der Grösse des Schwärmerkörpers und das Auftreten eines Saftraumes im Innern gekennzeichnet. Bei Oedogonium und Bulbochaete ist das nicht so auffallend, aber auch hier durch das Prallwerden des Schwärmerkörpers und die Glättung seiner Oberfläche markirt.

Im wesentlichen dürften die Vorgänge bei allen Vollzellbildungen die oben beschriebenen sein, so bei der Entstehung der Schwärmer der Chaetophoreen unter den grünen Algen, der in den pluriloculären Sporangien sich bildenden Schwärmer der Phaeosporeen und Cutleriaceen, der Tetra- und Carposporen der Florideen u. s. w.

Bei dem Vorgang der Abhebung des Plasmakörpers von der Zellmembran zeigen sich nun vielfach noch einige Besonderheiten, wenn auch untergeordneter Natur, die hier noch kurz erwähnt werden müssen. Die Abhebung erfolgt in manchen Fällen nicht glatt, sondern es zieht sich zuerst die Hauptmasse des Plasmakörpers in das Innere des Zellraumes zurück, bleibt aber mit der Zellwand durch mehr oder weniger feine Fäden und Platten verbunden, die sich einem dünnen auf der Membran zurückgebliebenen Wandbeleg ansetzen. Erst später hebt sich auch dieser Wandbeleg vollständig ab und vereinigt sich mit der übrigen Plasmamasse.

So fand ich es schön im Plasmakörper der durch Vollzellbildung sich isolirenden Pollenmutterzellen von Hemerocallis disticha, und manche andere Pflanzen verhalten sich gewiss hierbei ebenso.

Sehr schön hat das auch schon vor längerer Zeit Cohn[1]) bei der

1) Ann. d. Sc. nat. Botan. Sér. IV. Tome 5. Taf. 12 u. 13. Vergl. auch Kny's Wandtafeln. Heft 6. Taf. LXIV.

Bildung der Oosphären von Sphaeroplea annulina beobachtet und abgebildet. Allerdings zerfällt der Plasmakörper bei diesem Object in eine grössere Anzahl von Oosphären.

Sehr eigenthümlich gestaltet sich der Vorgang der Ablösung von der Membran in gewissen Ruhezuständen von Guttulina protea nach Fayod.[1]) In verunreinigter oder concentrirter Nährlösung runden sich die Amöben ab und hören auf, sich zu bewegen. Die contractile Vacuole hört auf zu pulsiren, nimmt allmählich an Grösse zu und lagert zuletzt unmittelbar unter der Membran der Ruhespore. Zuerst kuglig flacht sie sich hier bald in tangentialer Richtung mehr und mehr ab. Schliesslich umfliesst sie den ganzen Plasmakörper an seiner Peripherie und hat ihn somit von der Membran vollständig verdrängt.

Zwei interessante Specialfälle der Vollzellbildung finden wir bei Vaucheria und Ulothrix, bei denen aber durch mancherlei Abweichungen und Besonderheiten der Vorgang complicirter und schwerer verständlich geworden ist. Diese sehr lehrreichen Fälle mögen hier nachträglich noch eine gesonderte Besprechung finden.

Die Entwicklung der grossen Schwärmer von Vaucheria ist schon öfter, am eingehendsten von Thuret[2]) in den fünfziger Jahren und neuerdings wieder von Strasburger[3]) verfolgt worden. Ich studirte ebenfalls Vaucheria sessilis und fand Strasburger's neueste Angaben der Hauptsache nach bestätigt. In der folgenden Darstellung wird es sich deshalb wesentlich darum handeln, gewisse Punkte mehr hervortreten zu lassen, die bisher weniger Berücksichtigung gefunden haben.

Bekanntlich wird die Sporenbildung dadurch eingeleitet, dass die Spitzen einzelner Fäden etwas keulig anschwellen und sich mit grösseren Plasmamengen füllen. Gewöhnlich fand ich das Lumen dieser Spitzen zuletzt ganz mit Plasma erfüllt, anfangs findet man aber fast immer, wie das auch Strasburger beschrieben, im Vorderende zunächst eine ellipsoidische Vacuole, welche sich durch Abschnürung von dem Saftraum des übrigen Fadens abgetrennt hat. Diese Vacuole wurde aber in den von mir verfolgten Fällen allmählich kleiner und war meist vollständig verschwunden zu dem Zeitpunkte, wo sich an der Basis des Sporangiums die weiter unten eingehender zu besprechende farblose Zone auszubilden beginnt.

Der Inhalt der keuligen Fadenspitze erscheint durch die grossen Mengen der eingelagerten Chlorophyllkörper dunkel und undurchsichtig.

1) Botan. Zeitung 1883. S. 169. Taf. II. Fig. 20—28.
2) Ann. d. Sc. nat. Bot. 2. Sér. Tome XIX.
3) A. a. O. S. 84 ff.

Auch eine geringe Menge jener ölartigen Tröpfchen, die sich bekanntlich in den Fäden von Vaucheria in mehr oder weniger grosser Menge finden, sind dem Plasma hier eingelagert. Sie finden sich im hinteren Ende des jungen Sporangiums, wo die Plasmamasse sich allmählich gegen den dünnen Wandbeleg des vegetativ bleibenden Fadentheils auskeilt, wie gewöhnlich auf der Innenseite der Chlorophyllkörper, am Vorderende aber liegen sie ausserhalb der Chlorophyllmassen, die hier ziemlich weit von der Membran zurücktreten. Diese Partie des Plasmakörpers ist infolge dessen hyalin, ihr sind auch Zellkerne in grosser Zahl eingelagert, dieselben finden sich noch ausserhalb der kleinen Oeltröpfchen, dicht unterhalb der Membran. Bald nachher lösen sich die Oeltröpfchen im Plasma vollständig auf.

Sobald die Einwanderung der Plasmamassen in das junge Sporangium beendet ist, bildet sich an der Basis des letzteren jene, schon durch Thuret's sorgfältige Untersuchungen bekannt gewordene, ringförmige hyaline Zone aus, durch welche die Abtrennung des Sporangiums durch eine Querwand eingeleitet wird.

Man sieht in der betreffenden Zone den Wandbeleg allmählich etwas dünner werden, dann treten hin und wieder plötzlich einzelne chlorophyllfreie Stellen auf, die sich aber anfangs meist bald wieder schliessen, um anderswo aufs neue wieder hervorzutreten. Zuletzt verschwinden aber in der ganzen Zone die Chlorophyllkörper und etwa vorhandene Oeltröpfchen ziemlich rasch, indem gleichzeitig mehrere chlorophyllfreie Flecke entstehen, die seitlich miteinander verschmelzen. Die Zellkerne findet man in der ebengebildeten hyalinen Zone anfangs noch vor, bald wandern aber auch sie aus und der zurückbleibende Wandbeleg wird äusserst spärlich und dünn. Zuletzt zerreisst er hier jedenfalls vollständig, meist nur sehr allmählich, zuweilen aber plötzlicher. In diesen Fällen sah ich in dem unteren Fadentheil grössere Zellsaftmengen in Bewegung gerathen und durch die in der hyalinen Zone vom Wandbeleg befreite Membran nach aussen treten.

Gewöhnlich verdicken sich die Ränder des Protoplasmabelegs zu beiden Seiten der hyalinen Zone mehr und mehr und rücken einander allmählich wieder näher, so dass die hyaline Zone zuletzt oft nur noch als ganz schmaler heller Streifen zu erkennen ist. Häufig — ob immer konnte ich nicht mit Sicherheit entscheiden — bilden sich von diesen Rändern ausgehend auch früher oder später zwei das Lumen des Fadens quer durchsetzende Plasmalamellen aus. Sobald der Wandbeleg in der hyalinen Zone zerreisst, rücken die Plasmamassen, mögen sie noch weiter voneinander entfernt sein, oder sich schon fast bis zur Berührung genähert haben, rasch gegeneinander vor und bilden eine dicke den Faden quer durchsetzende Masse. Die Flüssigkeit, welche in der hyalinen Zone noch vorhanden war, wird stark zusammengepresst und

stark glänzend. Kryställchen von Kalkoxalat, welche ihr oft eingelagert sind, werden ebenfalls mit zusammengeschoben und finden sich darum bald nachher in der neuen Membran vor, welche nach kurzer Zeit innerhalb der plasmatischen Querlamelle entstanden ist.

Im Plasmakörper des Sporangiums sind mittlerweile ebenfalls Veränderungen vor sich gegangen. Wir sahen, dass zu der Zeit, wo sich das hyaline Band zu bilden beginnt, die Plasmamasse meist Vacuolen nicht mehr umschliesst, sondern compact ist, und dass Zellkerne in ihrem vorderen, hyalinen Ende sich angesammelt haben. In dem Masse nun, als die hyaline Zone an der Basis des Sporangiums wieder schmäler wird, nimmt die hyaline Plasmaschicht am vorderen Ende des Sporangiums an Dicke ab, die Chlorophyllkörper rücken wieder etwas nach aussen vor. Gleichzeitig werden auch die inneren Partien im Sporangium auffallend heller und es tritt am vorderen Ende wieder ein kleiner Saftraum auf. Auch am hinteren Ende findet man kurz vor dem Auftreten der neuen Querwand eine Vacuole vor.

Während aber die Membran sich bildet, oder meist unmittelbar nachher, wird das Plasma wieder vacuolenfrei, die Vacuolen werden verschluckt. Besonders an der hinteren kann man oft schön verfolgen, wie das Plasma von einer Seite, der Innenseite her in sie vordringt und ihre Flüssigkeit in sich aufnimmt. Zugleich damit beginnen auch wieder die Chlorophyllkörper in umgekehrter Richtung zu wandern, an der ganzen Oberfläche der Spore sammelt sich jetzt in ziemlich dicker Lage farbloses Plasma, in welchem die Kerne, wie Schmitz[1]) zuerst nachwies, regelmässig vertheilt sind.

Bevor jedoch der Schwärmer austritt, wird diese hyaline Schicht wieder bedeutend dünner und zugleich erscheint am Vorderende jene grosse Vacuole, welche sich bekanntlich auch in der schwärmenden Spore vorfindet.

Die im Plasmakörper während der Ausbildung des Schwärmers stattfindenden Vorgänge lassen sich nun ihren wesentlichen Zügen nach in folgender Weise charakterisiren: Schon bevor die Einwanderung des Plasma in das junge Sporangium ihr Ende erreicht hat, nimmt der Wandbeleg in seinem Vorderende inverse Symmetrie an. Diese greift immer weiter zurück, zuletzt, wenn die Einwanderung des Plasma vollendet ist, bis zur Basis des Sporangiums. Da nun im unteren Fadentheil die normale Schichtung erhalten bleibt, so müssen sämmtliche Plasmaschichten, welche bei normaler Symmetrie zwischen der Membran und der den Saftraum unmittelbar auskleidenden Schicht liegen, zerrissen werden, da sie in der jungen Spore centrale Lage anstreben. So erklärt sich das Auftreten der hyalinen Zone am Grunde des jungen Sporangiums.

1) Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- und Heilkunde zu Bonn. 4. Aug. 1879.

Vor der Ausbildung der Querwand treten dann im Plasma des Sporangiums wieder Vacuolen auf, die Chlorophyllkörper rücken wieder näher zur Peripherie, die normale Schichtung beginnt sich wieder herzustellen, aber sie wird nicht vollendet. Denn sogleich nachher treten wieder Aenderungen der Symmetrieverhältnisse auf, die jetzt direct zur Ausbildung des Schwärmers führen, und die durchaus mit dem übereinstimmen, was wir oben bei den anderen Formen gefunden haben. Der Plasmakörper nimmt vollständig inverse Symmetrie an, er contrahirt sich, der Saftraum schwindet wieder. Bei der definitiven Constituirung des Schwärmers nimmt der Plasmakörper wieder normale Schichtung an, wenigstens theilweise, ein Saftraum tritt wieder auf, das Chlorophyll rückt wieder nach aussen. Aber noch bevor diese Umlagerung ganz vollendet ist, schwärmt die Spore aus. Die Kerne liegen an ihr noch peripherisch, aber schon während des Schwärmens, das nur 15 Minuten anhält, wird am Hinterende der Spore schon neue Cellulosemembran ausgeschieden, und bald nach dem Niedersetzen ist die normale Schichtung vollständig wieder hergestellt.

Wie schon Strasburger nachgewiesen, finden auch in den sich entwickelnden Oogonien und Antheridien von Vaucheria sessilis ähnliche Vorgänge, wie in den Sporangien statt. Die Bildung der Scheidewand erfolgt in ganz derselben Weise. Ich habe die Entwicklungsvorgänge in diesen beiden Organen nicht so genau verfolgen können, doch möge hier wenigstens dasjenige Platz finden, was ich über die Umlagerungen, die im Plasmakörper des Oogoniums während der Ausbildung der Oosphären und nach der Befruchtung eintreten, feststellen konnte. Der Plasmakörper der jungen Oogonien enthält grössere Mengen der öligen Tropfen, sie liegen im centralen Theile, zum Theil zu grösseren Massen verschmolzen. Unmittelbar vor dem Auftreten des farblosen Bandes an der Oogoniumbasis treten auch hier die Chlorophyllkörper von der Peripherie etwas zurück, besonders auffallend in der vorderen schnabelähnlichen Ausstülpung des Oogoniums, die Oelmassen bewegen sich gleichzeitig umgekehrt etwas nach aussen. Die Ausbildung inverser Schichtung vollendet sich indessen nicht, möglicherweise zum Theil nur aus Mangel an Zeit, oder weil die Grösse der Oeltropfen der Umlagerung zu grosse Hindernisse darbietet, hauptsächlich aber wohl aus inneren Gründen, die auch in den jetzt folgenden Stadien sich ebenso geltend machen.

Unmittelbar bevor die Trennungsmembran entsteht, tritt, wie in den Sporangien, das Chlorophyll wieder mehr nach aussen, die Oeltropfen nach innen zurück.

Bald darauf wird wieder ein Anlauf zur Bildung inverser Symmetrieverhältnisse gemacht, indem die Oeltropfen zum zweiten Male freier nach aussen hervortreten und die Chlorophyllkörper sich wieder

zwischen ihnen verbergen. Besonders am Schnabel des Oogoniums ist kurz vor der Oeffnung die Masse hyalinen Plasmas sehr beträchtlich, die chlorophyllführenden Plasmaschichten treten hier weit in das Innere der Zelle zurück. Sie senken sich tief in die centralen ölführenden Partien ein und werden von den letzteren auch seitlich mehr oder weniger umfasst. Vereinzelte Oeltropfen treten dementsprechend auch an der Grenze der Chlorophyllschicht und des farblosen Inhalts des Schnabels oft, wenn auch nicht immer auf. Auch die Kerne sammeln sich hier im peripherischen farblosen Plasma jedenfalls zum Theil an, doch habe ich Näheres über das Verhalten derselben mit Hülfe von Färbungsmethoden nicht festzustellen versucht. Darum kann ich auch nicht sagen, ob das farblose Plasma, welches bei der Oeffnung des Oogoniums ausgestossen wird, Kerne enthält, und ob überhaupt in den Kernen während der Ausbildung der Oosphäre tiefgreifende Organisationsänderungen statt haben.

Schon in den ersten Stunden nach der Befruchtung fand ich im Ei die Chlorophyllmassen fast vollständig wieder peripherisch gelagert. Die Oospore bildet bekanntlich nur am vorderen Ende eine eigene Membran aus, während sie am grössten Theil ihrer Oberfläche von der ursprünglichen Membran des Oogoniums, die sich später stark verdickt, umschlossen bleibt. Es findet also bei der Ausbildung der Oosphäre nur am vorderen Schnabeltheil volle Ablösung von der alten Membran statt, während die vollständige Ausbildung inverser Symmetrieverhältnisse in der Oosphäre unmittelbar vor der Befruchtung — entsprechend den Umlagerungen in der Schwärmspore unmittelbar vor ihrer definitiven Constituirung — unterbleibt. Andere Vaucheriaarten, bei denen die Oospore vollkommen frei im Oogonium liegt, werden zweifelsohne in dieser Beziehung sich den Schwärmern von V. sessilis entsprechend verhalten.

Den zweiten noch gesondert zu besprechenden Specialfall der Vollzellbildung finden wir bei Ulothrix zonata vor. Die eigenthümlichen Abweichungen liegen hier nach ganz anderer Richtung als bei den Vaucherien.

Wir haben schon in den einleitenden Bemerkungen darauf hingewiesen, dass der Entstehung freier Zellen sehr oft vorbereitende Theilungen vorhergehen, so bei den Chaetophoreen, in den pluriloculären Sporangien der Phaeosporeen, in den Pollen- und Sporenmutterzellen u. s. w.

Dasselbe hat bei Ulothrix statt, aber in besonders merkwürdiger Weise.

Der ganze Vorgang der Schwärmerblidung ist hier von Dodel[1]) eingehend geschildert, dann auch wieder von Strasburger[2]) näher studirt worden. Ich selbst konnte die Alge ebenfalls untersuchen. In den zur Schwärmerbildung sich anschickenden Zellen, welche etwas gedunsene Form zeigen, nimmt der Wandbeleg inverse Schichtung an, ohne sich dabei aber, wie sonst gewöhnlich, nach der Zellmitte zu zu contrahiren. Der centrale Saftraum bleibt vielmehr erhalten. Bald zieht sich aber die Hauptmasse des Wandbelegs einseitig zusammen, doch so, dass auch an den anderen Stellen ein dünner Beleg erhalten bleibt, für den, obwohl das nicht direct nachweisbar, ebenfalls die Fortdauer der erwähnten Symmetrieverhältnisse anzunehmen ist. Gegen den so einseitig verschobenen Saftraum grenzt sich der Plasmakörper scharf ab, vermuthlich durch Ausbildung einer hohlkugligen Membranlamelle, welche später beim Freiwerden der Schwärmer den als Blase persistirenden Saftraum umgibt. Der Plasmakörper zerfällt nun durch succedane Zweitheilung in zwei, vier oder mehr Zellen, je nach seiner Grösse. Jede derselben erzeugt durch Vollzellbildung einen Schwärmer, voraussichtlich in der oben näher geschilderten Weise. Die Verhältnisse liegen hier, der Kleinheit des Objectes wegen, zu ungünstig, als dass sich etwas Sicheres in Betreff der Einzelheiten feststellen liesse.

Gegen Dodel glaubt nun neuerdings Strasburger statt der succedanen Zertheilung des Plasmakörpers eine simultane Bildung der einzelnen Schwärmer annehmen zu müssen. Indessen irrthümlicherweise, wie mir scheint. Die Grenzlinien, welche die einzelnen Territorien des zertheilten Plasmakörpers voneinanderscheiden, schneiden sich, wie auch Strasburger angibt, annähernd rechtwinklig, und das ist nach den im vorhergehenden Kapitel gegebenen Auseinandersetzungen nur möglich bei succedaner Bildung der Scheidewände. Bei simultaner Bildung müssten aus mechanischen Gründen die Territorien sich, wie im Wandbeleg der Embryosäcke polygonal gegeneinander abgrenzen.

Das Auftreten der durch Umkleidung des Saftraumes mit einer membranartigen Hülle gebildeten sterilen Blase, welche beim Austreten der Schwärmer mit entleert wird und der die letzteren oft noch längere Zeit seitlich anhaften, ist nun, glaube ich, in folgender Weise aufzufassen. Die Vorbereitung zur Schwärmerbildung beginnt in jeder Zelle mit einer Zelltheilung, welche der Abtrennung der Sporangien und Oogonien durch eine Querwand bei Vaucheria, Saprolegnia, Mucor u. s. w. entspricht. Die so entstehenden zwei Zellen sind aber ineinandergeschachtelt, die äussere fertile umgibt als Hohlkugel von ungleicher Wandstärke die steril bleibende innere Blase, der nur minimale Mengen von

1) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 10. 1876.
2) Zelltheilung und Protoplasma. Jena 1875. S. 155.

Protoplasma bei der Theilung zufallen. Ganz analoge Erscheinungen werden wir weiter unten wieder antreffen bei zahlreichen anderen Algen. Wenn bei Ulothrix nach Dodel die sterile Blase in manchen Fällen zu fehlen scheint, so dürfte das auf zu geringe Ausbildung ihrer Membran und dadurch hervorgerufenes frühzeitiges Platzen zurückzuführen sein.

Wesentlich complicirter gestalten sich die Vorgänge der freien Zellbildung, sobald der Plasmakörper der Mutterzelle gleichzeitig mehreren Tochterzellen den Ursprung gibt, wie das wohl in der Mehrzahl der Fälle statthat. Unter diesen Umständen können dann zwei Wege eingeschlagen werden, die zunächst wesentlich verschiedener Natur zu sein scheinen. Zu der einen Gruppe gehören nur wenige Formen, besonders die Saprolegnien und Halosphaera, zur anderen aber die grössere Mehrzahl, so besonders die Ascomyceten und die meisten grünen Algen. Auch die den Saprolegnien so nahe verwandten Peronosporeen schliessen sich der letzteren durchaus an hinsichtlich der Entwicklung ihrer Oosphären, obgleich diese nur in Einzahl im Oogonium gebildet werden.

Fassen wir bei unserer weiteren Besprechung zunächst diesen zweiten verbreiteteren Modus ins Auge.

Die neuen freien Zellen entstehen in diesen Fällen aus besonderen sich individualisirenden Theilen des Plasmakörpers der Mutterzellen, während neben ihnen ein mehr oder weniger bedeutenderer Rest des letzteren zurückbleibt, um in vielen Fällen überhaupt keine Verwendung zu finden, in anderen aber besonderen, secundären Zwecken dienstbar gemacht zu werden.

Im Plasmakörper der Mutterzellen entstehen hier nun zunächst, nachdem er polycentrische Structur angenommen hat, je nach den Einzelfällen nur ein bis mehrere oder sehr zahlreiche Centra allseitig nach aussen abgeschlossener plasmatischer Systeme, die weder unter sich, noch mit der alten Membran in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Indem jedes dieser Systeme sich durch eine Celluloselamelle gegen das übrige Plasma abgrenzt, entstehen die neuen freien Zellindividuen.

In Ermangelung eines passenden Objectes aus der Reihe der Algen, bei dem alle principiell wichtigen Punkte mit genügender Sicherheit analysirbar wären, möge hier zunächst die Bildung der Ascussporen in den Schläuchen der Ascomyceten näher besprochen werden, obwohl andererseits gerade das so wenig differenzirte Protoplasma der Pilze wieder eine Entscheidung über einige andere der hierbei in Betracht kommenden Fragen ganz unmöglich macht. Im übrigen empfiehlt sich aber der Vorgang der Sporenbildung in den Ascis schon hinreichend

dadurch, dass er seit langem von ausgezeichneten Beobachtern eingehend studirt worden und in den Hauptzügen jedermann geläufig ist.

Bei Ascobolus furfuraceus enthält der junge Ascus ein breites mittleres Protoplasmaband, welchem der grosse Kern eingelagert ist. Im unteren Ende, weniger im oberen, findet sich von Vacuolen durchsetztes schaumiges Protoplasma. Die Vermehrung der Kerne erfolgt durch wiederholte Zweitheilung, wie das Schmitz[1]) und Strasburger[2]) zuerst beschrieben haben. Sind acht Kerne entstanden, so lockert sich das breite, mittlere Plasmaband durch Vacuolisirung auf. Die Zahl und Grösse der Vacuolen ist zwar gering, aber man erkennt deutlich, wie sie sich an den Ecken zwischen das die Kerne umgebende und das spärliche, wandständig bleibende Plasma einschieben. Auch zwischen den Kernen sammt den sie umgebenden Plasmamassen treten kleinere Vacuolen in mehr oder weniger grosser Zahl auf, so dass schliesslich acht kernführende, etwa kuglige Massen entstanden sind, die mehr oder weniger auffallend voneinander getrennt und durch Plasmafäden und Platten im Lumen des Ascus suspendirt sind (Taf. VII, Fig. 8). Es ist nicht daran zu zweifeln, dass in diesen Massen um die Kerne als Centra normale Schichtung besteht, resp. bald hergestellt wird, wenn das auch an diesem Object nicht direct nachgewiesen werden kann, sodass dadurch bei der nun folgenden Ausscheidung von Cellulose die Ablagerung derselben in hohlkugliger Schicht schon vorgezeichnet ist. Möglicherweise bildet sich aber in den betreffenden Plasmamassen noch vor der Ausscheidung der Membran eine untergeordnete polycentrische Symmetrie aus, denn in Sporen mit noch ganz zarter Membran fand ich den centralen Kern von einem von zahlreichen kleinen Vacuolen durchsetzten schaumigen Plasma umgeben.

Unter Berücksichtigung der im vierten Kapitel gemachten Auseinandersetzungen über die Symmetrieverhältnisse plasmatischer Systeme verstehen sich die beschriebenen Vorgänge ohne Schwierigkeiten. Auch dass Membransubstanz nur um die acht zu Sporen bestimmten Centra auftritt, nicht auch in den übrigen Fäden und Platten des Ascusperiplasma, kann nicht weiter auffallen. Wir werden im übrigen weiter unten in diesem Kapitel eine grössere Zahl von Beispielen zu besprechen haben, bei denen das wesentlich anders ist.

Auf die weiteren Entwicklungsvorgänge in den betreffenden Ascis soll hier nicht ausführlicher eingegangen werden. Hervorgehoben sei nur noch, dass die anfangs kugligen Sporen bald bipolare, ellipsoidische Gestalt annehmen und dass später der gesammte Inhalt des Ascus sehr hübsche Symmetrieverhältnisse zeigt. Die im Periplasma suspendirten

1) Bonner Sitzungsber. 4. Aug. 1879.
2) A. a. O. S. 50 ff.

Sporen ordnen sich nämlich in zwei, der Ascusmembran etwas genäherten, alternirenden Reihen an, während bald auftretende und jede einzelne gesondert umgebende glänzende Schleimhüllen, die später wieder verschwinden, sich an ihrer Oberfläche ungleichmässig so vertheilen, dass ihre Hauptmengen in sehr auffallender Weise einen im Ascus ziemlich axil verlaufenden Faden bilden, der allerdings durch quere Periplasmabrücken in so viel Theile zerfällt, als Sporen vorhanden sind. In jüngeren Entwicklungsstadien sind aber die Sporen noch zu einer axilen Reihe angeordnet, und es sind dann die Schleimmassen mehr gleichmässig über ihre Oberfläche vertheilt, in der Aequatorialebene nur etwas dicker (Fig. 9, Taf. VII).

Einige Peziza-Arten, welche ich noch untersuchte (P. vesiculosa, P. cupularis, P. hirta, P. aurantia) verhielten sich bis zur Individualisation der jungen Sporen in allem wesentlichen ebenso, wie Ascobolus, der Plasmakörper des Ascus nahm also vor der Ausbildung der Membran der jungen Sporen polycentrische Symmetrie an und die einzelnen die acht Kerne umgebenden Plasmahaufen waren auch hier durch Plasmafäden und -Platten sowohl voneinander als von dem auf der Ascusmembran verbleibenden dünnen Wandbeleg geschieden.

Die auch hier um die herangewachsenen Sporen sich bildenden Schleimmassen zeigen dieselbe Lagerung, wie bei Ascobolus, wenigstens bei Peziza vesiculosa, bilden also eine mehr gleichmässige im Aequator verdickte Hülle, oder sind an der axilen Seite stärker verdickt, wenn die Spore mehr der Membran genähert liegt.

Hinsichtlich der Untersuchungsmethode mag nachträglich noch erwähnt werden, dass einfach kleine Mengen des Hymenialgewebes auf dem Objectträger durch sanften Deckglasdruck ausgebreitet und ohne Wasserzusatz untersucht wurden. Je nach den Objecten bleiben dann die Präparate eine halbe bis eine Stunde lang durchaus unverändert. Erst weiterhin treten Desorganisationserscheinungen in den Plasmakörpern auf.

Wie schon oben erwähnt, schliessen sich hieran auch die Vorgänge bei der Bildung der Oosphären in den Oogonien der Peronosporeen, die neuerdings durch de Bary[1]) eine besonders eingehende Behandlung erfahren haben, durchaus an. Aber es wird nur eine, der Befruchtung bedürftige freie Zelle gebildet. Nach de Bary's Darstellung (vergl. bes. p. 239 bis 253) zieht sich bei den hierhergehörigen Formen Pythium, Phytophthora und Peronospora im jungen Oogonium die Hauptmasse des Plasma mit den eingelagerten Fetttröpfchen nach dem Innern zusammen, in der Peripherie sammelt sich blasses, trübes ungleichmässig feinkörniges Periplasma an. Die Oosphäre grenzt sich durch

1) Abhandlungen d. Senkenb. naturf. Ges. Bd. XII. 1881.

eine hyaline Schicht von dem Periplasma ab. Wie die Symmetrieverhältnisse sich in ihr zu dieser Zeit und dann später nach der Befruchtung und der Ausbildung der neuen Membran im Einzelnen gestalten, lässt sich auch hier natürlich nicht näher ermitteln.

Auch bei der grösseren Mehrzahl der grünen Algen verläuft die Ausbildung der frei entstehenden ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Fortpflanzungszellen zunächst wesentlich ebenso, wie die der Sporen im Ascus der Ascomyceten. Der Plasmakörper der Sporangien nimmt polycentrischen Bau an und eine je nach den Einzelfällen mehr oder weniger grosse Zahl von neu gebildeten Centren gestalten sich zu selbständigen Zellen um. Während aber bei den Ascomyceten die neuen Zellen sich dauernd mit einer Cellulose-Membran umgeben, findet in den freigebildeten Zellen der betreffenden Algen sofort wieder Vollzellbildung statt, wie wir sie oben für Oedogonium, Ulothrix, die Pollenmutterzellen u. s. w. näher beschrieben haben.

Die einzelnen Phasen des gesammten Entwicklungsvorganges der Schwärmer sind nun bei den Algen wegen der Kleinheit der Verhältnisse zum Theil nur sehr schwer nachweisbar und darum von den früheren Beobachtern zum Theil übersehen worden. Auch mir ist es erst nach wiederholtem Studium der günstigsten Formen und eingehender Vergleichung derselben gelungen, mir über alle wesentlichen Punkte die erforderliche Klarheit zu verschaffen.

Die Modificationen, welche die vorliegenden Entwicklungsvorgänge bei den verschiedenen Formen zeigen, sind nur äusserliche und von untergeordneter Bedeutung für die gesammte Mechanik, die sich überall als wesentlich die gleiche erweist. Die Hauptmenge des polycentrische Symmetrie annehmenden Plasmakörpers der Sporangien und Gametangien zieht sich in vielen Fällen, so bei Cladophoren, Chaetomorpha, Ulva crispa, Codium zu einem anscheinend soliden Haufen in das Innere der Zellhöhlung zurück, in anderen Fällen bleibt sie aber, ähnlich wie bei Ulothrix, in der Nähe der Zellwand, so dass also der innere Saftraum erhalten bleibt. Wie bei Ulothrix gestaltet sich auch in diesen Fällen dieser Saftraum zu einer centralen Blase um. Dieses Verhalten des Plasmakörpers zeigen die relativ grosslumigen Sporangien und Gametangien von Botrydium, Valonia, Bryopsis, Hydrodictyon, Anadyomene. In manchen Fällen zieht sich dann indessen noch vor der Individualisirung der Schwärmer die Hauptmasse des Plasmakörpers weiter zusammen. So einseitig gegen das keulige obere Ende der Zelle zu, wo schon während des vegetativen Lebensstadiums der Wandbeleg viel dicker war als an den Seitenwänden, bei Botrydium. Bei

Bryopsis (ebenso auch bei Valonia) aber, wie das schon durch Pringsheims[1]) Untersuchungen bekannt geworden ist, zu einer unregelmässig netzförmig durchbrochenen Figur. In allen diesen Fällen bleibt aber ein zarter Wandbeleg im ganzen Sporangium erhalten, auch bei Botrydium, Bryopsis u. s. w. an den Stellen, die bei weniger eingehender Untersuchung vollkommen von Protoplasma entblösst zu sein scheinen.

Am übersichtlichsten fand ich den ganzen Verlauf der Schwärmerentwicklung von allen daraufhin von mir genauer untersuchten Formen bei Cladophora glomerata.

In den zur Schwärmerbildung sich anschickenden Zellen hebt sich nach Auflösung der Amylonkerne der die Chlorophyllmassen führende Theil des Wandbelegs von der Membran ab, die bisher nach innen gegen den Saftraum gelagerten Kerne treten frei nach aussen hervor. Die Verbindung der abgehobenen Hauptmasse des Plasmakörpers mit dem zarten farblosen Wandbeleg stellen farblose dünne Fäden her, die besonders gut an der Stelle zu erkennen sind, wo sich in der Sporangiumwand die Ausstülpung bildet, aus welcher später die Schwärmer entlassen werden. Auf der Innenseite jedes der ziemlich gleichmässig vertheilten Kerne ballt sich weiterhin die Hauptmasse des chlorophyllführenden Plasma zu einzelnen Haufen zusammen, in denen, wie auch Strasburger[1]) angibt, die Stärkekörnchen radiale Anordnung zeigen. Die einzelnen Häufchen sind ebenfalls durch farbloses, fädig-vacuoliges Plasma mit einander verbunden. Später stellen sich nun in den einzelnen, je einem Kern zugeordneten Häufchen, in denen, wie die Disposition der einzelnen Substanzen, besonders von Kern- und Chlorophyllmassen, anzeigt, anfangs inverse Symmetrie besteht, normale Schichtungsverhältnisse her. Die einzelnen von Anfang an schon ziemlich gedrängt liegenden Haufen nehmen dabei an Grösse etwas zu und platten sich infolge dessen gegenseitig polygonal ab. Dieses Stadium entspricht dem, wo in den Ascis um die jungen Sporenkörper die dünne Membranlamelle auftritt. In den einzelnen Haufen bleibt der Kern zwar einseitig, aber die an der ihm gegenüberliegenden Seite sich zur Oberfläche jetzt parallel anordnenden Chlorophyllmassen deuten das Auftreten der normalen Schichtung an, die ja mit monopolarer Gesammtsymmetrie sehr wohl vereinbar ist.

Um die einzelnen Haufen erscheinen hierauf helle Zonen, und es macht bei ihrer gedrängten Lage den Eindruck, als ob diese die Schwärmeranlagen direct voneinander trennten. In Wahrheit ist das Verhalten aber ein anderes. Die hellen Zonen entsprechen den zarten Membranen der Ascussporen, und auch hier haben wir anzunehmen, dass

1) Monatsber. d. Berliner Akademie. Mai 1871.
2) A. a. O. S. 71.

wie im Ascus die entstehenden Zellen von einer Periplasmamasse allseitig umgeben und voneinander getrennt werden. Bei Cladophora ist dieses Periplasma aber an Menge relativ gering und wird bei der mit der Herstellung der normalen Schichtung in den Schwärmeranlagen sich einstellenden Volumvergrösserung so zusammengedrängt, dass es zwischen den letzteren im allgemeinen nicht mehr zu erkennen ist. Gut nachweisbar ist es aber in der Nähe der Austrittspapille des Sporangiums, wo die Schwärmer weniger gedrängt liegen, hier lässt es sich zwischen den die letzteren umschliessenden hellen Schichten erkennen.

Diese hellen Schichten können also nur als die zarten Anlagen der Membranen der frei sich bildenden Zellen aufgefasst werden. Diese Membranen erlangen aber im vorliegenden Falle keine weitere Ausbildung und festere Consistenz, sondern verquellen sofort wieder, da nach kurzer Zeit in jeder der frei entstandenen Zellen wieder freie Zellbildung eintritt und zwar Vollzellbildung, durch welche der gesammte Plasmainhalt in einen Schwärmer übergeht.

Diese Vollzellbildung vollzieht sich nun in derselben Weise, wie wir das oben für eine Reihe von Fällen eingehend beschrieben haben. Aber die einzelnen Stadien des Vorganges sind hier bei der Kleinheit der Objecte nicht in der Weise mit Sicherheit zu verfolgen. Nur die Contraction der betreffenden Plasmakörper und das später wieder eintretende Prallwerden, womit die Schwärmer, wie bei Oedogonium definitiv ausgebildet sind, lässt sich sicher constatiren.

Bei dem bald darauf erfolgenden Austritt der Schwärmer aus dem Sporangium wird nun die Periplasmamasse leicht erkennbar und sie konnte darum auch schon Thuret bei seinen Untersuchungen nicht entgehen. Es sind meist farblose, protoplasmatische Reste, Bläschen u. s. w., die mit den Schwärmern entleert werden, oder zum Theil im Sporangium zurückbleiben. Unter gewissen Umständen, so z. B., wie es scheint, wenn die Schwärmerbildung etwas übereilt wird, wie es nach dem Einsammeln der Alge zu geschehen pflegt, ist die Periplasmamasse viel bedeutender und enthält nicht selten mehr oder weniger reichliche in die Schwärmerkörper nicht aufgenommene Chlorophyllmassen.

Bei Bryopsis cupressoides werden die zu Gametangien sich umbildenden Blattfiedern zunächst durch eine Querwand an ihrer Basis von dem übrigen Thallus abgetrennt. Im protoplasmatischen Wandbeleg bestehen die ersten Schritte in dem Auftreten wiederholter Zweitheilungen der Kerne und besonders der grossen Chlorophyllkörper, so dass letztere besonders bei den männlichen Pflanzen schliesslich zu sehr kleinen Scheibchen werden. Gleichzeitig beginnt der ganze Wandbeleg sich zu vacuolisiren, er nimmt polycentrische Symmetrie an, ohne sich indessen mit seiner Hauptmasse von der Zellmembran weiter abzuheben. Das Auftreten der polycentrischen Symmetrie markirt sich frühzeitig

durch eine Lagenveränderung der Chlorophyllkörper, welche beginnen sich zum grossen Theil auf die Kante zu stellen. Allmählich zieht sich nun die Hauptmasse des Plasmakörpers in der oben beschriebenen Weise zu der netzförmig durchbrochenen, hohlcylindrischen Figur zusammen.

Wie bei Cladophora, bilden sich weiterhin kleine Häufchen, aus einem Kern, ein bis zwei Chlorophyllkörpern und einer gewissen Menge farblosen Plasmas bestehend. Voneinander sind sie durch kleine Vacuolen getrennt. Aber nur an günstig gelegenen Stellen kann man sich davon überzeugen, für gewöhnlich sieht man zwischen den zukünftigen Gametenkörpern nur hellere Streifen sich hinziehen, deren Entstehung aus aneinandergereihten kleinen Vacuolen nicht erkennbar ist. In den kleinen Plasmahäufchen liegen die Chlorophyllkörper zunächst ordnungslos, sie zeigen mehr isodiametrische Gestalt. Bald darauf treten aber in jedem Häufchen normale Schichtungsverhältnisse auf, das Chlorophyll tritt an die Peripherie und plattet sich, wie in den vegetativen Thallustheilen wieder in tangentialer Richtung ab. Auch hier grenzen sich die Gametenkörper jetzt durch eine helle, glänzende Schicht nach aussen ab, aber ebenso wie bei Cladophora, kann man sich auch bei Bryopsis nur an günstigen Stellen davon überzeugen, dass sie allseitig von farblosem Periplasma umgeben sind.

Später contrahiren sich die Plasmakörper der Gameten etwas, die Oberflächencontouren werden etwas gerunzelt, die Zwischenlinien breiter und der ganze Haufe lockerer. Unmittelbar darauf werden sie wieder prall und beginnen sich langsam zu bewegen.

In diesem Stadium wird nun eine den ganzen axilen Saftraum des Gametangiums umhüllende Blase sichtbar. An den farblosen Stellen des Wandbelegs hebt sie sich anscheinend direct von der Membran ab, an den übrigen Stellen liegt sie der Innenseite der Gametenhaufen an. Oft enthält sie grössere chlorophyllführende Plasmamassen. Die übrige nach aussen gegen die Membran zu gelagerte und die zwischen den Gameten befindliche Periplasmamasse wird erst später zwischen den sich isolirenden Gameten in Form kleiner Bläschen und körniger Reste erkennbar. Die grosse, langgestreckte Innenblase zerfällt später meist in mehrere kleinere zufolge ihres labilen Gleichgewichtszustandes.

Eingehender konnte ich auch die Schwärmerbildung des schon von Woronin und Rostafinski[1]) näher studirten Botrydium granulatum untersuchen.

Auch hier entstehen im Wandbeleg bei Beginn der mit der Bildung der Schwärmer abschliessenden Umlagerungsvorgänge zahlreiche feine Vacuolen. Der Wandbeleg wird so dicker, die Chlorophyllkörper stellen sich auf die Kante und entfernen sich zum grossen Theil etwas von

1) Ueber Botrydium granulatum. Leipzig 1877.

der Membran. Die zahlreichen kleinen, kugligen Kerne, die hier ebenso wenig wie die Chlorophyllkörper vorbereitenden Theilungen wie bei Bryopsis unterliegen, sind gleichmässig in der Masse vertheilt. Hauptsächlich an den Seitenflächen, die auch schon während der vegetativen Lebensperiode der Alge einen viel dünneren Plasmabeleg besitzen, entstehen jetzt von Woronin und Rostafinski schon beschriebene grosse Lücken im Wandbeleg, ähnlich wie bei Bryopsis, nach und nach zieht sich aber hier die Hauptmasse des Plasmakörpers einseitig nach dem oberen, breiteren Zellende zurück. Einzelne kleinere Haufen lösen sich indessen gelegentlich ab und bleiben dann an den Seitenwänden zurück. Eine zarte farblose plasmatische Lamelle bleibt aber auch hier an der ganzen inneren Zelloberfläche erhalten.

Kurz vorher erscheinen auch im ganzen Plasmakörper unregelmässig vertheilt schon von Woronin und Rostafinski beschriebene grössere Vacuolen, welche langsam wieder an Grösse abnehmen und verschwinden.

Die Bildung kleiner, durch Vacuolen getrennter Plasmahäufchen mit je einem Kern und einigen Chlorophyllkörpern ist auch hier an den günstigen Stellen nachweisbar. Bald darauf erscheinen die hellen Trennungsschichten, die Chlorophyllkörper nehmen in jedem Zellchen wandständige Lage ein. Zwischen den gedrängt liegenden Schwärmeranlagen scheint auch hier das Periplasma zu fehlen, an den Rändern aber kann man es erkennen.

Zugleich mit der Herstellung der polycentrischen Symmetrie im Wandbeleg beginnt bei Botrydium auch die Zellmembran aufzuquellen, die bei der Entleerung der Schwärmer bekanntlich vollständig zerfliesst.

Nach schwacher Contraction und nachträglichem Wiederprallwerden sind auch hier die Schwärmer definitiv constituirt, bald darauf fangen sie sich langsam zu bewegen an. Im Innern erscheint nun die grosse, das ganze Lumen umfassende, mit derber, aber sehr quellbarer Membran versehene Blase. Sie besitzt einen sich aber im allgemeinen bald desorganisirenden Wandbeleg, der oft recht beträchtlich ist und grössere Plasmamengen mit Kernen und Chlorophyllkörpern enthalten kann. In solchen Fällen fand ich einigemale einen Theil der umschlossenen Plasmamassen zu einer geringen Anzahl ziemlich grosser mit Membran umgebener und stark chlorophyllhaltiger Kugeln contrahirt, welche ganz den von Woronin und Rostafinski beschriebenen (l. c. p. 8) und Gonidien genannten Gebilden glichen. In einem näher verfolgten Falle hatten sich diese Kugeln in der Objectträgercultur noch nach 8 Tagen lebend erhalten.

In einem anderen Falle, der mir aufstiess, war der ganze ziemlich viel Chlorophyll enthaltende Wandbeleg der inneren Blase am Leben geblieben, aber die Schwärmer waren in diesem Falle nicht ausgetreten,

sondern hatten sich, zwischen der Blase und der alten, nicht vollständig verquollenen Zellhaut eingekeilt, mit Membran umgeben.

Die Entstehung der centralen Blase in den Sporangien der beiden zuletzt besprochenen Formen, Botrydium und Bryopsis, möchte ich, wie bei Ulothrix, auf einen eigenthümlichen Zelltheilungsvorgang zurückführen, wobei also die Blase als die eine sterile, der sie umgebende, die Hauptmasse des Plasmakörpers enthaltende hohle Raum als die andere fertile Theilzelle zu betrachten wäre. In dieser letzteren findet dann freie Zellbildung wie im Ascus statt, während er sich bei Ulothrix, wie wir sahen, durch einige successive Zweitheilungen zerklüftete.

Mehr oder weniger massenhafte periplasmatische Bildungen habe ich noch bei der Entstehung der Schwärmer von Anadyomene, die wesentlich wie bei Cladophora verläuft, sowie bei der Bildung der Geschlechtsproducte von Codium nachweisen können, ich zweifle nicht daran, dass sie bei den meisten Algen zu finden sein werden.

In den Antheridien von Vaucheria hat schon Pringsheim[1]) ihr Vorkommen nachgewiesen. Dieselben besitzen ein schaumiges Plasma, in welchem die spärlichen Chlorophyllkörper vorwiegend axil gelagert sind. In welcher Weise die Ausbildung der Spermatozoiden weiterhin erfolgt, lässt sich bei der Kleinheit der Verhältnisse gar nicht verfolgen. Die gesammten Chlorophyllkörper fallen bekanntlich dem Periplasma und damit der späteren Desorganisation anheim.

Wie schon oben erwähnt, hat auch schon Thuret[2]) das Periplasma bei Cladophora erkannt, von jüngeren Algologen hat Schmitz[3]) eingehender darauf hingewiesen. Brefeld[4]) hat vermuthlich homologe Massen im Sporangium von Mucor gefunden.

Wie aber das Vorkommen dieser Periplasmabildungen, wenn sie in geschlechtlich differenzirten Sporangien auftreten, für die Theorie der Befruchtungsvorgänge von Bedeutung sein soll, wie neuerdings von Dodel[5]) weitschweifig zu zeigen versucht worden, ist nach dem Vorstehenden schwer einzusehen. Geschlechtlich differenzirte und ungeschlechtliche Sporangien zeigen in dieser Hinsicht nicht die mindesten Unterschiede.

Auf die Formbildung der entstehenden freien Zellen brauchen wir nach den Auseinandersetzungen im vierten Kapitel nicht näher mehr einzugehen, nur ein Specialfall möge hier noch nachträglich besprochen wer-

1) Befruchtung und Keimung d. Algen. Berlin 1855. — Jahrbücher. Bd. 2.
2) Recherches sur les zoospores des Algues. p. 36.
3) Mitth. d. zoolog. Station zu Neapel. Bd. 1. 1878. S. 89. Anm.
4) Schimmelpilze. Heft 1.
5) Biologische Fragmente. Cassel und Berlin 1885.

den, nämlich die Spermatozoiden der Characeen, die in Uebereinstimmung mit den Spermatozoiden der meisten Archegoniaten eine sehr gestreckte, korkzieherartig gewundene Gestalt besitzen.

Die Entwicklung dieser Organe ist in der letzten Zeit von Schmitz[1]), Zacharias[2]) und Goebel[3]), aber mit wesentlich verschiedenen Resultaten verfolgt worden. Nach Schmitz geht das Spermatozoid aus dem Zellkern hervor, indem die peripherische Schicht des letzteren sich verdichtet und zu einem spiraligen Bande spaltet. Nur das vordere, cilientragende Ende soll sich aus dem Protoplasma der Mutterzelle bilden. Das Bläschen, welches dem entwickelten und freigewordenen Spermatozoid am Hinterende anhaftet, soll aus den inneren Partien des Kernes sich bilden.

Zacharias ist zu ähnlichen Resultaten wie Schmitz gekommen, nur soll das Bläschen nach ihm aus dem Zellprotoplasma hervorgehen.

Nach Goebel endlich bildet sich das Spermatozoid unter Betheiligung des gesammten Plasmainhalts der Mutterzelle, aber der Kern spaltet sich nicht in ein Spiralband, wie es Schmitz wollte, sondern es bildet sich an ihm seitlich ein bandförmiger Auswuchs, der sich allmählich verlängernd fast die ganze Masse des Kerns in sich aufnimmt. Das Bläschen soll aber auch nach Goebel aus einem Rest der Kernmasse sich bilden.

Keiner der drei Beobachter hat indessen den Vorgang ganz richtig erkannt. Nach meinen im Sommer 1883 an Chara foetida angestellten Untersuchungen liegt hier vielmehr ein im Princip ganz normal verlaufender Fall von freier Zellbildung unter Abscheidung geringer Periplasmamengen vor. Das dem entwickelten Spermatozoid anhaftende Bläschen entspricht der inneren Blase, wie wir sie in den Sporangien von Botrydium, Bryopsis, Acetabularia u. s. w. vorfanden, es ist der mit membranähnlicher Hülle umgebene Saftraum der Mutterzelle.

In den jungen Spermatozoidmutterzellen fand ich den grossen Kern central in feinkörnigem Plasma. Bald tritt aber eine Vacuole auf, die ihn etwas zur Seite drängt. Der plasmatische Inhalt bildet also jetzt einen an der Stelle, wo der Kern liegt, stark verdickten Wandbeleg. Wie Goebel zuerst richtig gesehen, stülpt sich nun aus dem Kern ein schwanzartiger Anhang vor, der sich mehr und mehr verlängert und dem Wandbeleg eingelagert die Vacuole umkreist. Der Körper des Kernes wird nach und nach immer kleiner und verschwindet zuletzt vollständig. Der Kern hat so vollständig die Form eines dünnen Spiralbandes angenommen, das mehr als drei volle Windungen besitzt. Diese

1) Bonner Sitzungsber. 13. Juli 1880. S. 31.
2) Schenck, Handbuch der Botanik. Bd. 3. S. 421.
3) Botan. Zeitung. 1881. S. 827.

Windungen liegen nur zum Theil der Zellmembran näher an, theilweise aber mehr im Innern der Zelle in annähernd aequatorialer Lage. Der Grund dafür ist, dass während dieser Zeit sich der Wandbeleg etwas von der Membran zurückgezogen hat, wenigstens seiner grösseren Masse nach. An sorgfältig präparirtem lebenden und sofort untersuchtem Material — conservirtes ist für die Verfolgung der Entwicklungsvorgänge in diesem Falle unbrauchbar — sieht man wie besonders an den Enden der Zelle im Wandbeleg dicht unterhalb der Membran kleine Vacuolen aufgetreten sind.

Der bandförmige Zellkern ist also dem von der Wand etwas zurückgetretenen Plasma eingelagert, dieses letztere nimmt aber rasch an Masse ab und ist bald nur noch schwierig zu erkennen. Der Kern selber wird zuletzt stark glänzend.

Die definitive Constituirung des Spermatozoids dürfte nun zuletzt im wesentlichen genau ebenso erfolgen, wie die jedes anderen Schwärmers, wenn das auch direct nicht nachweisbar ist. Die dem Spermatozoid zugehörige Plasmamasse ist aber ihrer Menge nach äusserst geringfügig und beschränkt sich im wesentlichen auf die Cilien und auf das von Zacharias zuerst nachgewiesene Häutchen, welches nach Lösung der Nucleinmassen des Kerns zurückbleibt.

Die Cilien sollen nach Goebel's Darstellung zuerst entstehen, noch ehe von dem Körper des Spermatozoids etwas zu sehen ist. Ich habe davon nichts erkennen können, und es muss diese Angabe auch aller Analogie nach als höchst unwahrscheinlich gelten, da in allen Fällen, wo ein sicherer Nachweis möglich ist, die Cilien an den Schwärmern erst zuletzt, kurz vor ihrem Austritt sich bilden.

Für die Mechanik der Formgestaltung des Spermatozoids scheinen mir nun die im Zellplasma während seiner Entwicklung sich ausbildenden Symmetrieverhältnisse von wesentlicher Bedeutung zu sein. Nach dem Auftreten des Saftraums in der Mutterzelle ist es verständlich, wie der Kern im Wandbeleg sich zu einem langen Bande ausziehen kann, wenn nur seine Consistenz und die Spannungsverhältnisse an seiner Oberfläche entsprechende Modificationen erleiden. Mit dem Auftreten des starken Lichtbrechungsvermögens wird aber die Consistenz der Kernmasse jedenfalls schon eine sich mehr dem festen Aggregatzustande nähernde.

Auch bei den Archegoniaten dürfte die Entwicklung der Spermatozoen wesentlich in derselben Weise verlaufen, wie es hier für Chara geschildert wurde. Wenigstens muss ich das aus meinen Befunden an den Prothallien von Equisetum arvense schliessen. Die dem nur etwa eine Spiralwindung besitzenden Spermatozoid anhaftende Blase ist auch hier nichts anderes als der mit Membranschicht umgebene Saftraum der Zelle. Die stark lichtbrechenden Körnchen, welche sich in der-

selben finden, und die nach den Angaben von Schacht[1]) und neuerdings auch nach Strasburger[2]) Stärke sein sollen, sind aller Wahrscheinlichkeit nach unorganischer Natur. Ich fand sie unfärbbar mit Jod und unveränderlich sowohl in starker Kalilauge als in starker Salzsäure. Auch Schwefelsäure blieb anscheinend ohne Wirkung auf sie.

Bei der anderen Gruppe von Formen, zu denen, wie schon früher erwähnt, die Saprolegnien und Halosphaera gehören, unterbleibt die Ausbildung von Periplasma vollständig. Der gesammte Plasmakörper der betreffenden Zellen zerfällt bei diesen Objecten in eine Anzahl — mehrere bis viele, in den Oogonien von Saprolegnien zuweilen auch nur eine einzige — von Portionen, welche zu selbständigen freien Zellen werden.

Es ist besonders die Ausbildung der Schwärmer und Oosphären der Saprolegnien, die wir an dieser Stelle zunächst ins Auge zu fassen haben. Die betreffenden Vorgänge sind neuerdings schon in ausgezeichneter Weise von de Bary[3]) und von Strasburger[4]) näher verfolgt worden, welche alles Wesentliche hinreichend klar und sichergestellt haben. Es bedarf darum in unserer Darstellung hier nur der näheren Hervorhebung der principiellen und für die Mechanik wichtig erscheinenden Punkte.

Ich untersuchte besonders Saprolegnia ferax und einige andere nicht näher bestimmte Arten und zwar sowohl die Ausbildung der Schwärmer als die der Oosphären.

Als die wesentlichsten Momente dieser Vorgänge können nun bei den Saprolegnien betrachtet werden: Die Umwandlung des anfangs die ganze Höhlung des durch eine Querwand vorher abgetrennten Sporangiums erfüllenden Plasmakörpers in einen mehr oder weniger dicken Wandbeleg; die allmähliche Ablösung dieses Wandbelegs von der Membran und gleichzeitig damit die Zertheilung desselben in eine Anzahl gleicher Haufen, welche sich zuletzt vollständig voneinander trennen. Schliesslich die Constituirung dieser Theilstücke zu Schwärmern und Eiern.

In einem jungen Oogonium von Sapr. ferax fand ich zunächst unmittelbar nach der Bildung der Querwand einen sehr dicken Wandbeleg und ein kleines centrales Lumen. Die äusseren Partien sind auffallend heller als die inneren. In der kurzen, stielartigen Verlängerung am

1) Die Spermatozoiden im Pflanzenreich. Braunschweig 1864.
2) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. S. 96.
3) Abhandlgn. d. Senckenb. naturf. Ges. Bd. 12. 1881.
4) A. a. O. S. 56 ff.

unteren Ende ist der Wandbeleg sehr dünn, eine Reihe von grösseren Vacuolen tritt dicht an die Membran heran. Bald wird nun der Wandbeleg dünner, auch die äusseren Schichten werden auffallend dunkler und die Vacuolen im Stiel ziehen sich nach innen zurück, um ebenfalls compacten Plasmamassen Platz zu machen. Diese Umlagerungen zeigen, dass der vorher jedenfalls polycentrische Plasmakörper vollkommen monocentrisch und wandständig wird. Etwa 1½ Stunden nach der Bildung der Scheidewand treten einzelne unregelmässige helle Löcher im jetzt ziemlich dünn gewordenen Wandbeleg auf. Dieselben verschwinden dann wieder, neue treten an anderen Stellen auf, dies dauerte unter lebhaften Aenderungen und partiellen Zusammenballungen des Plasmakörpers an einzelnen Stellen etwa 1½ Stunden lang. Die innere Oberfläche war dabei immer unregelmässig und durch das Lumen oft dicke Fäden gespannt. Dann wurde der Wandbeleg wieder überall gleichmässig dick und an seiner inneren Seite zeigten sich nun die zahlreichen hellen Stellen der früheren Beobachter. Dass dieselben wirklich Vacuolen sind, davon konnte ich mich ebenfalls überzeugen, da ich das schon von de Bary angegebene plötzliche Verschwinden einzelner und Wiederauftauchen anderer öfter constatiren konnte. Ich möchte sie in Beziehung setzen zu der fortdauernden Contraction und Wasserabgabe des Plasmakörpers. Zwei und einhalb Stunden nach Entstehung der hellen Stellen fand ich im ziemlich dünn gewordenen Wandbeleg ein lebhaftes Wogen und Fliessen der Körnchen, nach drei Stunden war das Plasma auffallend bräunlich geworden, nicht mehr schwärzlich wie früher, die eingelagerten Körnchen besassen bedeutendere Grösse. Die Vacuolen waren abgeplattet, in die Länge gezogen, mit unregelmässigen Contouren, nicht mehr straff wie vorher. Eine halbe Stunde nachher die ersten Anzeichen der beginnenden Ballung. Dieselbe vollendete sich in etwa einer Stunde. An acht ziemlich gleichmässig über die Wand vertheilten Stellen wölbt sich das Plasma nach innen vor, wobei die zwischenliegenden Partien mehr und mehr an Masse abnehmen. An den letzteren liess sich auch, besonders in der schmalen Stielpartie, constatiren, dass der Wandbeleg sich während dieses Vorganges von der Oogoniumwand allmählich wieder ablöste. Doch ist Saprolegnia ein wenig günstiges Object, sich hiervon sicher zu überzeugen, das gelingt erst, wenn man die Algen zum Vergleich herbeizieht.

Die Ballen treten immer weiter nach innen vor, contrahiren sich dann plötzlich sehr stark, wobei sie sich zuweilen auch wieder etwas ausbreiten, werden stärker lichtbrechend homogener, ohne aber ihre bräunliche Färbungsnuance zu ändern. Gleichzeitig sieht man den Wandbeleg ganz abgehoben, die Ballen ziehen sich an der Basis stark zusammen und das Ganze bewegt sich langsam gegen das Innere des Oogoniums. Mit der Wand und unter sich sind die Ballen anfangs

noch durch dünne Fädchen verbunden, die bald zu zerreissen scheinen. Jetzt tritt eine geringe Vergrösserung der einzelnen Ballen auf, wobei sie sich gegenseitig etwas abplatten. Bald darauf beginnen sie langsam sich zu contrahiren und zeigen eine Zeitlang Amöboidbewegung. Die Bildung eruptionsartiger Protuberanzen ist weniger auffallend. Allmählich erfolgt Abrundung unter langsam fortdauernder Contraction.

Antheridien fehlten bei der untersuchten Form vollständig, am nächsten Morgen hatten sich die Eier mit doppelt contourirter Membran umgeben. Nach 2½ Tagen waren sie ganz ausgereift.

Einige der betreffenden Vorgänge liessen sich in den Oogonien einer anderen Saprolegnia, welche ich im Sommer 1883 auf todten Mücken fand und dann auf Chironomuslarven cultivirte, noch besser verfolgen. In allen principiell wichtigen Stadien war der Verlauf aber durchaus der gleiche.

War der zwischen den Ballen (deren sich in grossen Oogonien etwa 10—12 bildeten) befindliche Wandbeleg sehr dünn geworden, so sah man sie plötzlich wie einen Tropfen auf seiner Unterlage sich ausbreiten, nachdem sie unmittelbar vorher sich sehr stark aufgehellt hatten. Sie flossen dann scheinbar wieder zusammen, und nahmen an Volumen stark zu, ohne indessen das Oogonium wieder ganz zu erfüllen. Diese Ausbreitung und Volumzunahme war von einem Erscheinen zahlreicher kleiner Vacuolen in der Masse der Ballen begleitet, gleichzeitig war auch die Abhebung von der Membran vor sich gegangen. Die Vacuolen verschwinden bald wieder, die einzelnen Ballen ziehen sich zusammen unter amöboiden Gestaltveränderungen, dann glätten sie sich.

Auch in den Sporangien von Saprolegnia ferax flachen sich die einzelnen Ballen schliesslich stark ab unter Zunahme des Lichtbrechungsvermögens und der Durchsichtigkeit (feine Körnelung). Dann treten in ihnen Vacuolen auf, gleichzeitig hebt sich die ganze Masse von der Membran ab. Die Vacuolen werden grösser, die Ballen dehnen sich aus und platten sich gegenseitig ab, ohne sich jedoch überall zu berühren, besonders bleiben die Ecken frei. Dann tritt unter amöboiden Formänderungen wieder Contraction auf, schliesslich aber Glättung, die Oberfläche wird prall, die Schwärmer sind definitiv constituirt und mit Cilien versehen.

Nebenbei möge hier noch die gelegentliche Beobachtung erwähnt werden, dass die in den Culturen schwärmenden Zoosporen in ganz auffallender Weise von den Sporangien angezogen wurden, von dem Zeitpunkte an, wo die Ballen sich stark abflachten und contrahirten, bis sie sich wieder ausdehnten und polygonal abgeplattet hatten. Die Haufen waren zuweilen so dicht, dass vom ganzen Sporangium nichts mehr zu sehen war. Vorher und nachher eilten alle Schwärmer achtlos an ihnen vorüber.

Eine entsprechende Beobachtung konnte ich auch an den Oogonien der oben besprochenen Saprolegnia machen, nur waren es hier grosse Mengen von Bacterien, welche in dem betreffenden Stadium das Oogonium umschwärmten.

Dass nun während der Ballung in den Sporangien eine Umkehrung der Symmetrie des Wandbelegs unter gleichzeitiger Ablösung von der Membran statthat, zeigt in schöner Weise eine merkwürdige grüne Alge, welche wir an dieser Stelle zu behandeln haben, nämlich die von Schmitz[1]) beschriebene und näher untersuchte Halosphaera viridis. Bei einer eigenen Untersuchung der betreffenden Alge im Frühjahr 1884 konnte ich die von Schmitz gemachten Angaben über die Entwicklung der sich später durch weitere Theilungen zu Schwärmern umgestaltenden Plasmaballen im wesentlichen durchaus bestätigen.

Wir haben den normalen Bau des Plasmakörpers der kugligen Alge schon früher im ersten Kapitel kennen gelernt. Wie bei den Saprolegnien treten im Wandbeleg beim Beginn der zu beschreibenden Umlagerungsvorgänge eine Anzahl von Anziehungscentren auf, nach welchen sich die Hauptmasse des Wandbelegs zusammenzieht. Jedem Centrum ist ein Zellkern zugetheilt, welcher bald die Aussenseite des entstehenden Haufens einnimmt und nach der Zellhöhlung zu von chlorophyllführendem Plasma überlagert wird. In dem sich immer mehr verdünnenden Wandbeleg zwischen den einzelnen Haufen treten zuletzt an den von den letzteren entferntesten Stellen einzelne Löcher auf. Indem diese immer grösser und zahlreicher werden und bald seitlich zusammenfliessen, trennen sich schliesslich die Plasmaballen vollständig voneinander. Bald darauf erfolgt vollständige Abhebung von der Membran.

Was nun das mechanische Verständniss der wesentlichsten Punkte der vorstehend beschriebenen Vorgänge anbetrifft, so bedarf zunächst der im jungen Sporangium sich einstellende Entmischungsvorgang, der mit der Ausbildung eines centralen Saftraums, umgeben von einem dicken Wandbeleg abschliesst, keiner näheren Discussion. Für die vorliegenden Fälle dürfte die Hauptbedeutung darin liegen, dass der Plasmakörper in eine hohlkuglige Lamelle übergeführt werden soll, die sich nun weiter zertheilen kann. Die Ballenbildung in diesem Wandbeleg nun wird dem Auftreten besonderer Symmetrieverhältnisse im Wandbeleg zuzuschreiben sein, die in der im vierten Kapitel versuchten Weise zu begründen sein werden. Wie in den periplasmabesitzenden Sporangien wird bei Halosphaera jedem Ballen ein Kern zugetheilt. In den Sporangien der Saprolegnien ist das vermuthlich ebenfalls der Fall, da jeder Schwärmer einen Zellkern besitzt, den Oosphären dürften aber

1) Mitth. d. zoolog. Station zu Neapel. Bd. 1. 1878.

wohl ihrer Grösse wegen mehrere Kerne zufallen, die sich später wohl vereinigen werden, wenn nicht eine solche Vereinigung kleiner Gruppen von Kernen schon vorher stattfindet, in der Weise, wie ich das früher für die Sporangien von Derbesia neglecta beschrieben habe und wie es nach weiteren Untersuchungen ohne Zweifel auch bei Derbesia Lamourouxii und in den Gametangien von Dasycladus clavaeformis vorkommen muss.

In den durch den Zellsaft und die umgebende Flüssigkeit von der Membran allmählich verdrängten Plasmaballen finden während dieser Zeit lebhafte Stoffwechselprocesse statt, die mit Entmischungs- und Wiederauflösungsvorgängen verbunden sind, wie der verschiedentliche Wechsel der Farbe und der Durchsichtigkeit, das Auftreten feinerer und gröberer Körnelung, der Vacuolen u. s. w., zeigen. Damit erklären sich auch die plötzlich eintretenden Contractionen der Masse, ihre Wiederausbreitung und die anderen hierhergehörigen Begleiterscheinungen.

Was nun die weiteren Vorgänge nach Isolirung der Ballen anbetrifft, so dürfte es sich damit im wesentlichen genau ebenso verhalten, wie in den Sporangien der vorhin besprochenen Algen von dem Zeitpunkte an, wo die Schwärmeranlagen sich gegenüber dem restirenden Periplasma zu individualisiren beginnen. Die entstandenen freien Ballen, die wie Halosphaera zeigt, inverse Symmetrie besitzen, nehmen an Volumen zu, erhalten normale Schichtung, wie die mit rudimentären Membranen sich umgebenden Ballen in den Algensporangien. Von einer solchen rudimentären Membran nebst Periplasma ist aber in den vorliegenden Fällen nichts zu erkennen. Darauf erfolgt wieder Contraction der Ballen unter amöboiden Gestaltveränderungen, wie sich bei den besprochenen Algen die Inhalte der freigebildeten Zellen zum Zwecke der Vollzellbildung von der rudimentären Membran abheben, dann wieder ebenso, wie bei den Algenschwärmern Volumzunahme und Ausbildung der Schwärmer und der Oosphären.

Es muss hier dahingestellt bleiben, ob die Entwicklung der Schwärmer bei den Saprolegnieen überall in der beschriebenen Weise vor sich geht. Büsgen[1]) hat vor einigen Jahren eingehende Untersuchungen über die Entwicklung des Phycomyceten-Sporangiums veröffentlicht, in denen besonders auch die Schwärmerbildung mehrerer Saprolegnieen beschrieben ist. Nach Büsgen's Darstellung verhalten sich die von ihm untersuchten Formen (Dictyuchus clavatus, Leptomitus lacteus, Saprolegnia monoica und andere Formen der S. ferax, Achlya) wesent-

1) Pringsheim's Jahrbücher. Bd. 13. 1882.

lich anders als wir es hier fanden. Der Vorgang soll im wesentlichen so verlaufen, dass unter Bildung von Zellplatten sich der gesammte Inhalt des Sporangiums in etwa gleich grosse aber nicht regelmässig umgrenzte Stücke theilt. Die Zellplatten sollen hierauf ganz oder theilweise verquellen, zuletzt vollständig verschwinden und der ganze Plasmakörper des Sporangiums wieder sich zu einer Masse vereinigen und homogen werden. Erst hierauf sollen sich wieder neue Zellplatten bilden, welche die definitive Sonderung der Schwärmer hervorrufen sollen.

Auch Peronospora und Mucor sollen ein ähnliches Verhalten zeigen.

Nach Büsgen's Darstellung fände also in den Sporangien Vieltheilung statt, wie etwa im Embryosack von Eranthis hiemalis, dann Vollzellbildung. Aber die Ausbildung der Schwärmer käme erst im zweiten Anlauf zu stande, während der erste Versuch ganz vergeblich wäre.

Der Vorgang würde sich also in ganz fundamentaler Weise von allem was uns die Sporangien der Cryptogamen bisher zeigten, unterscheiden.

Mir scheinen aber die Befunde Büsgen's — die ich leider selber an den betreffenden Objecten bisher nicht näher verificiren konnte — sehr leicht einer anderen Deutung fähig und aus Gründen der Analogie durchaus bedürftig zu sein.

Wenn wir annehmen, dass das, was Büsgen als Zellplatten angesehen hat, nichts anderes sind, als schwach entwickelte Trennungszonen zwischen den einzelnen Plasmaballen, mit geringen Saftmassen erfüllt, so würde der ganze Verlauf der Schwärmerentwicklung durchaus in Uebereinstimmung kommen mit dem, was von de Bary und in den vorstehenden Blättern für die Entwicklung der Oosphären und Schwärmer von Saprolegnia festgestellt worden ist.

Wenn ich diese Umdeutung der sonst so sorgfältigen Untersuchungen Büsgen's für zulässig halte, so glaube ich, denselben bei der Schwierigkeit des Objectes damit nicht zu nahe zu treten. Neuere vergleichende Untersuchungen werden definite Aufklärung über die Differenzpunkte zu geben haben.

Wir würden also nach dem Vorhergehenden die Vorgänge bei den Saprolegnien und bei Halosphaera als abgeleitete freie Zellbildungen aufzufassen haben, und zwar abgeleitet direct von periplasmaausscheidenden Formen. Die bei den letzteren stattfindende Preisgebung periplasmatischer Reste wird bei ihnen vollständig vermieden, indem sich die einzelnen Centra schon vor der transitorischen rudimentären Membranbildung vollständig voneinander zu trennen vermögen. Wir dürfen an dieser Auffassung auch festhalten, wenn den Periplasmamassen da, wo

sie vorkommen, immer eine bestimmte Function zukommen sollte, etwa die einzelnen Plasmahaufen zunächst in bestimmter Weise suspendirt zu halten, oder bei der Entleerungsmechanik mitzuwirken, abgesehen von den zahlreichen weiter unten zu behandelnden Fällen, wo ihnen die Aufgabe zufällt, gewisse Skulpturen auf der Oberfläche der freigebildeten Zellen zu erzeugen.

Der zuletzt eingehend geschilderte Modus der freien Zellbildung nimmt also sowohl in Bezug auf die Oekonomie der Pflanze als auch auf die Raschheit der Entwicklung die höchste Stufe ein.

Wir sehen die Fälle der freien Vielzellbildung fast ganz auf die Thallophyten beschränkt. Nur im befruchteten Eiinhalt von Ephedra und Gingko findet, wie schon oben erwähnt wurde, nach Strasburger's Befunden freie Vielzellbildung statt, wobei grössere Mengen von Periplasma zurückbleiben.

Die Gefässcryptogamen und Phanerogamen sind bei der Ausbildung der Sporen- und Pollenzellen nur zum Theil und in ziemlich primitiver Weise zu einer abgekürzten Entwicklung vorgeschritten. Die Entstehung der letzteren erfolgt zwar zum Theil simultan in einem Zuge, nachdem sich der Kern der Mutterzelle vorher durch Zweitheilung vermehrt hat, aber die Trennung der vier Plasmamassen wird erst durch meist mächtig entwickelte Cellulosemembranen bewerkstelligt, die kurz darauf wieder aufgelöst werden müssen. Der Verlust von Periplasma wird allerdings, da in jedem Fach Vollzellbildung stattfindet, ebenfalls vermieden.

Es muss einigermassen auffallen, dass in den Sporangien der Thallophyten simultane Vieltheilung — unter Entstehung einer grösseren Anzahl von Portionen — mit nachheriger Vollzellbildung nicht vorkommt, wenn wir von den von Büsgen, wie oben ausgeführt, wohl mit Unrecht hierhergestellten Saprolegnieen absehen. Nur in den Tetrasporangien der Florideen und Dictyotaceen, sowie in den Oogonien der mehrere Eier erzeugenden Fucaceen, soweit sich das für die letzteren aus Thuret's[1]) Abbildungen schliessen lässt, finden sich entsprechende Vorgänge, die sich auch — mit Ausnahme vieler Fucaceen — durch die Vierzahl der zur Ausbildung gelangenden Zellen dem Verhalten der Pollen- und Sporenmutterzellen der höheren Pflanzengruppen anschliessen.

Die Membranen freigebildeter Zellen zeigen nie jene mannigfaltigen inneren Skulpturen, wie sie sich in so wechselnder Ausbildung bei den im Gewebeverbande verbleibenden Zellen ausgestalten. Um so häufiger

1) Ann. d. Sc. nat. Sér. IV. Tome II.

und in nicht minder grosser Mannigfaltigkeit treten solche dafür aber auf der nach aussen gewandten Membranfläche auf. Bei diesen äusseren Membranskulpturen der frei entstandenen Zellen handelt es sich im allgemeinen immer um wirkliche Vorsprungsbildungen auf der Membran, nicht etwa um Ausstülpungen derselben, hervorgerufen durch kurze Zeit andauerndes, localisirtes Flächenwachsthum, wie bei so manchen Haaren. Wenn solche Ausstülpungen an freien Zellen vorkommen, wie z. B. bei manchen Pollenkörnern, so sind sie hohl und auch hier auf die Thätigkeit von Vegetationspunkten zurückzuführen.

Unseren gesammten bisherigen Ausführungen gemäss, können nun die betreffenden Vorsprungsbildungen nur Producte plasmatischer Massen sein, müssen nach Form und Vertheilung von solchen vorgebildet werden. Es sind alle Bildungen des ausserhalb der frei sich bildenden Zellen zurückbleibenden Periplasma, ebenso wie die inneren Wandvorsprünge solche des normalen Zellplasma sind. Mit der Mehrzahl der letzteren stimmen sie auch darin überein, dass sie nur eine begrenzte Höhe erreichen, niemals sich an die Membran der Mutterzelle ansetzen. Davon kommen leicht begreiflicher Weise hier nie Ausnahmen vor, während von den inneren Wandvorsprüngen, wie wir im vorigen Kapitel sahen, gar nicht selten das ganze Zelllumen durchsetzt und oft in mehrere, vollkommen voneinander geschiedene Abtheilungen getrennt wird.

Nur bei manchen Archegoniaten sind die betreffenden Bildungen nicht, wenigstens nicht vollständig Producte eines Periplasma. Doch davon später.

Es kommt uns bei den folgenden Betrachtungen nur darauf an, die Formverhältnisse der in Rede stehenden Bildungen auf Grundlage der in diesen Blättern vertretenen Anschauungen mechanisch abzuleiten. Auf ihren feineren Bau, sowie auf nicht streng zur Sache gehörige Nebenumstände und Thatsachen der Entwicklung soll nicht weiter eingegangen werden. Besonders wegen der Pollenkörner sind in dieser Hinsicht Strasburger's[1]) neueste Angaben zu vergleichen.

Was die Nomenclatur anbetrifft, so wurden die betreffenden Bildungen früher als zu den Episporien, bei den Pollenkörnern zur Exine gehörig betrachtet. Strasburger hat nun neuerdings, um eine für alle Fälle brauchbare Bezeichnung zu erhalten, den Namen „Perinium" in Vorschlag gebracht. Es dürfte indessen doch viel zweckmässiger sein, einfach den von den Sporen der niederen Pflanzenformen entnommenen Namen „Episporium" auch auf die betreffenden Bildungen der Pollenkörner zu übertragen. Diese letzteren sind ja doch nichts weiter als Mikrosporen und es wäre gewiss sehr wünschenswerth, dass sie in Zukunft auch allgemein als solche bezeichnet würden.

1) Bau und Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882.

Die zuverlässigen Untersuchungen über die Entstehung der Episporien sind spärlich und neueren Datums. Es sind besonders de Bary[1]), Strasburger und Leitgeb[2]), welche in den letzten Jahren eingehendere und werthvolle Angaben darüber gemacht haben. Ich selbst musste mich auch hierbei auf die Untersuchung, resp. Nachprüfung einiger weniger, wichtiger Fälle beschränken.

Bei Peronospora arborescens und intermedia zieht sich nach de Bary das Periplasma zu einer dicken, ungegliederten, braunen Hülle um die Oosporen zusammen, die zuletzt erhärtet. Es zeigen sich in ihr nur hin und wieder einzelne Vacuolen, die schon vorher im Periplasma existirten. Das Episporium von P. Alsinearum entsteht nach demselben Forscher ebenso aus einem von Vacuolen durchsetzten Periplasma, indem die zwischen den Vacuolen befindlichen Platten desselben erhärten und sich bräunen. Der Bau ist der eines Schaumgewebes von ziemlich unregelmässiger Zellgrösse, die Mechanik der Formbildung also keiner weiteren Erörterung bedürftig.

Ein ausgezeichnetes Object für das Studium der Entwicklung des Episporiums bot sich mir in den Zygoten einer 90—150μ langen, 23—24μ breiten Spirotaenia dar, welche ich zu Pfingsten 1883 in einem Moorgraben in der Nähe von Spa in den Ardennen sammelte.

Bei der Bildung der meines Wissens bisher noch nicht beschriebenen Zygoten legen sich zwei Individuen nebeneinander, theilen sich und nach Verquellen der Zellmembranen copuliren die Tochterzellen paarweise, sodass man immer zwei Zygoten nahe beieinander in einer hellen Schleimmasse liegend findet.

Bald nach der Vereinigung der beiden Plasmakörper umgibt sich jede Zygote mit einer ziemlich festen etwas bräunlich gefärbten Membran, die, wie ihr Verhalten gegen Reagentien zeigt, cuticularisirt ist. Erst nachher wird auf der äusseren Oberfläche dieser Membran eine stark lichtbrechende, bläuliche Masse erkennbar, die in Chromsäure leicht quillt, ebenso mit Chlorzinkjod ohne dabei Blaufärbung zu zeigen.

Diese ziemlich dicke Schicht ist zuerst glatt und anscheinend homogen, bald zeigen sich aber an ihrer Aussenseite flache Höcker und man erkennt nach einiger Zeit, dass sie eine schaumige Structur angenommen hat. Aber es wird so nur eine Schicht flacher Vacuolen gebildet, welche alle von ziemlich gleicher Grösse sind. Seitlich grenzen sie sich hexagonal gegeneinander ab und sind durch ziemlich dicke Platten der bläulichen Masse, in der sie sich bildeten, voneinander getrennt. Später nehmen die Blasen an Höhe mehr und mehr zu und während

---

1) Abhandlungen d. Senckenb. naturf. Ges. Bd. 12. 1881.

2) Ueber Bau und Entwicklung der Sporenhäute. Graz 1884.

anfangs die Trennungslamellen noch ziemlich leicht in Chromsäure und Chlorzinkjod aufquellen und anscheinend in Lösung gehen, lassen sich später mit Hülfe dieser Reagentien in ihnen der Zygotenhaut aufsitzende niedrige cuticularisirte Leistchen erkennen, die mit der Entwicklung der Blasen im Innern der glänzenden Trennungslamellen rasch an Höhe und Dicke zunehmen. Zuletzt findet man die Zygote von einer bienenwabenähnlichen sehr zierlichen Hülle umgeben, die etwas über die Hälfte des Zygotenhalbmessers an Höhe besitzt. Die bläuliche Masse, ebenso wie die weniger auffallende, durch das Verquellen der Zellmembran der copulirenden Individuen entstandene Schleimmasse nehmen während dieser Entwicklungsvorgänge mehr und mehr ab und verschwinden später ganz.

Die Umwandlung der glänzenden Substanz der Blasenwände zu festen cuticularisirten Lamellen, findet nur in den Seitenwänden statt, dagegen nicht in der äusseren Decklamelle. Diese schwindet später ganz, nur einige Male fand ich sie als dünnes Häutchen erhalten, sodass also die betreffenden Zellen des Episporiums ausnahmsweise auch nach ihrer Ausbildung oben geschlossen blieben. In einigen anderen Fällen hatten aber die Seitenwände eine eigenthümliche Weiterentwicklung erfahren. Ueberall, wo je drei von ihnen zusammenstiessen, hatten sie eine weit bedeutendere Höhe als gewöhnlich erreicht, sodass hier je drei Maschenwände sich zu dreiflügligen, sich allmählich verjüngenden Stacheln verlängert hatten.

Das vorliegende Object ist von besonderem Interesse dadurch, dass es so schön zeigt, wie unter Umständen die Membranen frei im Wasser liegender isolirter Zellen centrifugales Wachsthum zeigen können. Wenn auch zur Zeit des Auftretens der Membran um die Zygote ausser der durch die stark verquollene Mutterzellenmembran gebildeten Schleimhülle nichts zu sehen ist, so werden wir doch anzunehmen haben, dass ausserhalb dieser Membran eine Periplasmamasse zurückbleibt, deren Product das Episporium ist. Wenn von dieser auch für gewöhnlich nichts zu sehen ist, so konnte ich mich doch von ihrem Vorhandensein überzeugen an einigen jungen Zygoten, die auf dem Transport gelitten hatten und bei denen ich auf der Membran eine körnig geronnene Masse fand, welche sich an einigen Stellen blasig abgehoben hatte.

Im letzten Sommer hatte ich Gelegenheit auch die Entwicklung der Zygoten von Cosmarium Botrytis zu studiren und mich davon zu überzeugen, dass in der That die Angaben, welche Schmitz[1]) neuerdings darüber gemacht hat, richtig sind. Wie schon de Bary[2]) angegeben hatte, entstehen zuerst an der mit Membran umgebenen Zygote

1) Bonner Sitzungsberichte. 6. Dec. 1880.

2) Conjugaten. Leipzig 1858. S. 51.

gleichmässig vertheilte, stumpfe Höcker durch Ausstülpung der Membran nach aussen. Zuerst hohl, füllen sie sich später von innen her grösstentheils mit Cellulose aus. Ihre Ausbildung zu den langen, an ihrer Spitze meist wiederholt dichotom getheilten Stacheln erfolgt aber durch centrifugales Wachsthum an ihrer äusseren Oberfläche.

Wie dieser Wachsthumsvorgang aber im einzelnen verläuft, ob die Stacheln in irgend einer Weise durch ein Periplasma vorgebildet werden, konnte ich an dem mir leider nur spärlich zu Gebote stehenden Material nicht näher verfolgen.

Die Sporen von Peziza hirta besitzen ein aus zahlreichen Stacheln bestehendes Episporium. Sie sind kuglig und im langgestreckten Ascus einreihig angeordnet. Noch bevor sie ganz ausgewachsen sind umgibt das Periplasma sie mit einer bläulich glänzenden, dicken Hülle. Die letztere erscheint ursprünglich homogen, differenzirt sich aber bald, ebenfalls noch bevor die Sporen ganz ihre definitive Grösse erreicht haben.

Dicht der Sporenmembran anliegend, erscheinen im optischen Querschnitt helle Punkte. Wie das Flächenbild lehrt, haben sich in einer schwächer lichtbrechenden Grundmasse radial gestellte dichte Balken differenzirt. Statt der schaumigen Structur, wie wir sie bei Spirotaenia fanden, erscheint hier also eine gerüstförmige, aber so, dass die Balken sich alle nebeneinander in radialer Richtung und gleichmässiger Vertheilung anordnen und sich einerseits an die Sporenmembran, andererseits an eine äussere, continuirliche dünne Deckschicht ansetzen. Beim Ansatz an die letztere verbreitern sie sich etwas, was auch später an den fertig gebildeten Sporen noch gut zu erkennen ist. Die Deckschicht selber persistirt aber hier ebensowenig wie bei Spirotaenia, nur die radialgestellten Balken cuticularisiren. In einigen Präparaten indessen, die eine Woche cultivirtem Material entnommen waren, fand ich öfter die Spitzen einzelner Stacheln durch mehr oder weniger dicke Balken seitlich verbunden, niemals aber von einer continuirlichen Lamelle überdeckt, wie gelegentlich einzelne Zellen des Spirotaenia-Episporiums.

Das in der Entwicklung begriffene junge Epispor löst sich bei Behandlung der Präparate mit Chloralhydrat leicht von der Sporenmembran ab, das fertig ausgebildete aber nicht mehr.

Wie verschieden sich aber die Mechanik dieser Vorgänge bei nahe verwandten Pflanzen gestalten kann, sehen wir, wenn wir die betreffenden Entwicklungsvorgänge bei einer anderen, episporienbildenden Peziza mit der vorstehenden vergleichen.

Die ellipsoidischen Sporen von Peziza aurantia, die in den Brennpunkten je einen grossen Oeltropfen führen, besitzen ein Episporium, welches aus dicken, wenig hohen Leisten besteht, die ziemlich gleich

grosse hexagonale Felder umschliessen. Die ersten Entwicklungsvorgänge im Ascus zeigen nichts besonderes, die jungen Sporen liegen zunächst in einem feinschaumigen Periplasma. Später aber, noch bevor die jungen Sporen ihre Kugelgestalt verloren haben, wird der Bau des Periplasma regelmässiger.

Die Vacuolen nehmen an Zahl ab, vergrössern sich und nehmen alle etwa gleiche Dimensionen an. Sie bilden so eine einfache Schicht polygonaler Blasen mit ziemlich zarten Trennungslamellen zwischen der axilen Sporenreihe und dem zarten Wandbeleg und trennen ebenso auch die einzelnen Sporen voneinander. Um dieselbe Zeit fangen die Sporen an ellipsoidische Gestalt anzunehmen, in jedem Brennpunkt treten einzelne kleine Oeltröpfchen auf, die später miteinander verschmelzen. Auch bei dieser Species zeigt sich dann, noch bevor die Sporen ganz ausgewachsen sind, eine helle, glänzende Schleimschicht auf der Oberfläche der letzteren. Diese Schleimmasse tritt auch ein wenig in die Plasmaplatten des umgebenden Periplasma hinein, ist also schon jetzt an ihrer Oberfläche mit einer entsprechenden hexagonalen Zeichnung versehen (Taf. VII, Fig. 10). Infolge der Grössenzunahme der Sporen und der Verdickung der Schleimhülle werden in den nun unmittelbar folgenden Entwicklungsstadien die anfangs ziemlich hohen Periplasmakammern in radialer Richtung so stark comprimirt, dass sie schliesslich nur noch als feine helle Linien unmittelbar innerhalb des spärlichen Wandbelegs und zwischen je zwei Sporen zu erkennen sind. Aber sie bleiben in ihrer Anordnung und Abgrenzung voneinander unverändert bestehen, denn nachdem schliesslich die sich mehr und mehr vermehrende Schleimmasse fast das ganze Lumen des Ascus ausgefüllt hatte, vergrössern sich die Vacuolen des Periplasma wieder, die Schleimschicht wird von ihnen zusammengepresst und gleichzeitig zum grossen Theil in die Basis der Periplasmalamellen hineingedrängt, indem die Vacuolen sich immer tiefer in sie vorstülpen.

Damit ist die Modellirung der Form des späteren Episporiums beendet, die Schleimmasse braucht jetzt nur noch zu erhärten und zu cuticularisiren. Die ziemlich niedrigen Leisten des Epispors sind ziemlich dick und plump, nach oben verjüngt und abgerundet. In vollkommen geschlossener Schicht überdeckt die Masse des Epispors die ursprüngliche Sporenmembran, aber es gelang mir nicht durch Reagentien beide voneinander abzulösen, oder überhaupt eine Grenzzone zwischen ihnen später noch nachzuweisen. Die Gruben zwischen den Leisten sind nicht immer von gleicher Tiefe, oft ziemlich flach und auch an Grösse nicht immer ganz gleich.

Grosse Störungen zeigte die ganze Formausbildung des Epispors, als ich den Pilz zwei Tage in Cultur gehalten hatte. Die hexagonale Felderung fehlte jetzt oft auf ganzen Theilen der Sporen, beson-

ders an den Seitenflächen, die Maschen waren von äusserst verschiedener Grösse, die trennenden Leisten sehr verschieden hoch und dick geworden.

Bei Spirotaenia und Peziza hirta modellirt sich die das Episporium erzeugende Schleimmasse durch Vacuolisirung von innen heraus, bei der vorliegenden P. aurantia wird aber dieser Masse ihre Gestalt erst durch die Mitwirkung des umgebenden Periplasma aufgeprägt. Dementsprechend sind im letzteren Falle Deckenbildungen über die einzelnen Kammern durchaus ausgeschlossen.

Wesentlich anders wie bei den bisher besprochenen Fällen verläuft die Ausbildung der aussen mit hexagonaler Felderung versehenen Sporenhaut von Lycopodium clavatum. Die Felderung ist hier viel zierlicher und kleiner als bei den besprochenen beiden Formen und nur an der Aussenseite der tetraëdrischen Sporen vollständig, an den drei Seitenwänden aber viel schwächer, gegen die Spitze zu gar nicht mehr entwickelt. Die Entwicklung dieser Sporen ist neuerdings auch von Strasburger verfolgt worden, meine Resultate stimmen jedoch nicht ganz mit den von diesem Forscher erhaltenen überein.

Nachdem in den Sporenmutterzellen die Tetradenbildung beendigt ist, zieht sich in jeder Zelle die Hauptmasse des Plasmakörpers von der Membran zurück zu einer im Innern liegenden compacten Masse zusammen. Ein dünner Wandbeleg bleibt erhalten und zwischen ihn und die mittlere Ansammlung schieben sich in unregelmässiger Weise grössere Vacuolen ein. Auch dieser Wandbeleg nimmt nun feinschaumige Structur an, doch entsteht nur eine einfache Schicht kleiner Bläschen. Der Sporenkörper umgibt sich nun mit einer zarten Membran, welche sich im Wandbeleg aber innerhalb der Bläschenschicht bildet, die letztere also ausschliesst. Fast gleichzeitig, jedenfalls noch bevor die Sporenmembran nennenswerthe Dicke und derbere Consistenz erlangt hat, entsteht aber in den radialen Lamellen dieses Schaumgewebes, welches natürlich als Periplasma aufzufassen ist, ebenfalls Membransubstanz (Taf. VII, Fig. 6). Bald darauf hebt sich der periplasmatische Wandbeleg von der Membran der Tetradenzellen etwas ab. Diese Membran hat bisher keine Veränderungen erlitten, sie ist ziemlich dünn, stark lichtbrechend und quillt sehr leicht bei Behandlung mit Chromsäure. Sporenmembran und aufgesetztes Wabengewebe nehmen allmählich an Dicke zu, sind aber zunächst noch vollkommen farblos, glänzend. Kurze Einwirkung von Chromsäure zeigt sehr schön, dass die einzelnen Kammern des Epispors durch ein feines Häutchen — den Wandbeleg der Tetradenzelle — nach aussen abgeschlossen sind. Diese Decke cuticularisirt aber auch hier später nicht, sondern verschwindet, die Kammern des Epispors sind später nach aussen geöffnet.

Nach Strasburger's Darstellung soll sich zuerst um den Plasmakörper der Spore ein feines äusseres Häutchen bilden und an dieses als innere Verdickungsschicht successive das Wabengewebe und die eigentliche Sporenmembran angelagert werden. Meine Befunde sprechen entschieden zu Gunsten der oben geschilderten Ausbildungsweise, wonach also das Wabengewebe das sehr frühzeitig sich anlegende Product eines ausserhalb der Spore verbleibenden Periplasmakörpers ist. Auch aus Gründen der Analogie würde schon Strasburger's Darstellung für wenig wahrscheinlich gelten müssen.

Ganz ähnlich schienen mir nun auch die äusseren Membranskulpturen einiger Pollenkörner zu entstehen.

Bei Geranium collinum fand ich die Hauptmasse des Plasmakörpers der noch hautlosen Pollenzellen ebenfalls zusammengeballt im Innern der Zellhöhlung liegen. Aber ein zarter Wandbeleg bleibt auch hier erhalten und zwischen ihm und der inneren Masse sieht man einzelne Plasmafäden ausgespannt, die allerdings in Alkoholmaterial leicht zerstört zu werden scheinen. Bald darauf hebt sich der ganze Wandbeleg als geschlossene Haut von der umgebenden Membran ab und nähert sich der Hauptmasse des Plasmakörpers, wobei an der Oberfläche eine Reihe von Falten auftreten (vergl. auch Strasburger l. c. Taf. VII, Fig. 74, 75). Auf diesem Stadium werden die zwischen der äusseren Haut und der Hauptmasse ausgespannten Plasmafäden auch in Alkoholmaterial gut conservirt. Wie bei Lycopodium clavatum bildet sich die Membran des Pollenkorns sammt dem Espispor in dem mantelförmigen, abgehobenen Wandbeleg. Auch hier findet sich sofort nach dem Auftreten der Membran das ganze seiner Form nach vollständig ausgebildet, nur viel kleiner und zarter als später. Am halb entwickelten Pollenkorn zeigt Chromsäure nach kurzer Einwirkung die Structur des Espispors besonders gut. Ueber der geschlossenen Membran des Pollenkorns lagert sich ein hexagonales Maschengewebe, dessen niedrige und zarte Wände sich aber weiter nach aussen auflösen in verdickte, kolbige Zäpfchen, die sich öfter gabeln, auch in drei bis vier Arme theilen können.

Nach Strasburger's Darstellung soll bei Geranium cristatum und G. sanguineum die Ausbildung wie bei Lycopodium eine successive nach innen vorschreitende sein, was mir nach meinen obigen Befunden auch für diese beiden Arten nicht als ganz zutreffend erscheinen muss.

Die ähnlich gebauten Episporien der Pollenkörner mancher Liliifloren, wie Lilium, Hyacinthus, Pancratium, Iris scheinen nach meinen Untersuchungen bei ihrer Entwicklung demselben Typus zu folgen. Ich untersuchte etwas eingehender Hyacinthus candicans. Hier erhält das junge Pollenkorn seine Membran ebenfalls noch innerhalb der Mutter-

zelle liegend. Die neue Membran liegt der der Mutterzelle anscheinend dicht an. Ihre spätere Structur zeigte sie mir auch hier sofort in allen Zügen fertig, aber wieder alle Theile kleiner und zarter. Bei dem ersten Auftreten der Membran sind die Pollenzellen noch prall und der Plasmakörper füllt den ganzen Innenraum aus. Erst nachher contrahirt sich die Hauptmenge des Plasmakörpers stärker und zieht sich zu einem Klumpen in das Innere der Zelle zurück mit der jungen Membran nur durch zarte Fäden verbunden bleibend. Auch die junge Membran wird jetzt von der alten abgehoben und die ganze Zelloberfläche wird faltig und runzlig. Schon jetzt nimmt die Membran mit Chlorzinkjod braune Färbung an. Der feinere Bau des Epispors ist nun folgender: Mit Ausnahme eines von Pol zu Pol gehenden breiteren Streifens findet sich über der eigentlichen Membran ein hexagonales Netzwerk derber, hauptsächlich in tangentialer Richtung verbreiteter Leisten, welche aber mit der eigentlichen Membran nicht durch entsprechend orientirte radiale Platten in Verbindung stehen, sondern aufruhen auf unregelmässiger vertheilten mehr abgerundeten oder mehr verbreiterten Stützen von verschiedener Dicke. Diese Stützen tragen also das hexagonale Leistenwerk etwa wie Pfosten ein darübergelegtes Geländer. Das Epispor hat also hier seine Hauptentwicklung vorzüglich in seinen peripherischen Theilen gefunden, während sonst gewöhnlich das Umgekehrte der Fall ist.

Bei Helleborus abschasicus und H. graveolens dürfte die Entwicklung des Epispors im wesentlichen ebenso verlaufen, wie bei den vorstehend eingehender besprochenen Beispielen. Die Zeichnung erinnert hier wieder durchaus an die von Lycopodium clavatum, aber bei der erstgenannten Art wird sie an sechs breiten Streifen, die nach den Kanten eines regulären Tetraeders angeordnet sind, überhaupt nicht entwickelt, bei der letzteren bleiben aber drei Streifen frei davon, die in gleichen Entfernungen voneinander von Pol zu Pol gehen.

Auch die Angaben von Strasburger über Cobaea scandens, die ich in Bezug auf das Thatsächliche bestätigen kann, lassen das Auftreten eines flachblasigen Periplasmas an der Oberfläche des jungen Pollenkorns vermuthen, obwohl ich ein solches hier noch nicht direct nachzuweisen vermochte. Dasselbe ist für Cichorium Intybus zu vermuthen, bei welcher mir ebenfalls die directe Untersuchung bisher wenig Aufklärung verschaffte. Erst von umfassenderen Bearbeitungen dieser Fragen dürfen wir hier volle und sichere Aufklärung erwarten. Aufs Gerathewohl herausgegriffene Einzelfälle können nur zur ersten Orientirung dienen.

Bei Althaea rosea zieht sich mit dem Beginn der Vollzellbildung die Hauptmasse des Plasmakörpers der Pollenzelle von der Mutterzellmembran zurück. Aber es bleibt auf der letzteren ein dünner Wand-

beleg, mit dem die contrahirte Plasmamasse durch äusserst zahlreiche feine Plasmafäden in Verbindung steht, wie das schon Strasburger für Malva crispa abgebildet hat (a. a. O. Taf. V, Fig. 3). Bei der Wandbildung um das junge Pollenkorn bleiben diese Fäden als Periplasma ausserhalb der Membran zurück, und es entstehen in ihnen die Stacheln des Epispors. Wie schon Strasburger angibt, ruht nach Isolirung der Pollenzellen das umgebende Plasma des Pollenfaches auf den Spitzen dieser Stacheln. Zutreffender ist zu sagen, es ruht auf dem innerhalb der nachträglich aufgelösten Membran der Mutterzelle zurückgebliebenen Wandbeleg.

In sehr eigenthümlicher Weise scheinen sich die Episporien mancher Lebermoose nach den neuesten Angaben von Leitgeb zu entwickeln. Leider lernte ich keines der betreffenden Objecte aus eigener Anschauung kennen und ich muss aus diesem Grunde darauf verzichten, hier Vermuthungen über die Formbildungsmechanik bei diesen Fällen auszusprechen. Es möge darum hier nur kurz auf Leitgeb's Arbeit verwiesen sein.

Von Gefässcryptogamen hat Strasburger ausser dem schon oben besprochenen Lycopodium clavatum noch Equisetum limosum und Marsilea eingehender studirt. Auch auf diese Objecte und die von Strasburger an ihnen erhaltenen Resultate muss ich mir hier näher einzugehen versagen, da ich sie selber noch nicht eingehend zu verfolgen im Stande war.

Dasselbe gilt im wesentlichen auch für die eigenthümlichen Episporiumbildungen, wie sie bei den Farnen vorkommen. Das Episporium entsteht hier, wie es auch mir in Uebereinstimmung mit den von früheren Forschern erhaltenen Resultaten schien, aus den innersten Schichten der Membran der Sporenmutterzellen, die sich um die Spore herum in Falten legt und cuticularisirt. Ob damit das Wesen der Vorgangs in der That vollständig und ganz richtig ausgedrückt ist, davon habe ich mich an den bisher von mir verfolgten Objecten — Aspidium violascens, A. Fadyeni, Asplenium Belangeri — noch nicht genugsam überzeugen können. Wahrscheinlich ist es nach der Mannigfaltigkeit der vorkommenden feineren Formverhältnisse nicht. Denn wenn in manchen Fällen die auftretenden Formen sich vollständig dadurch erklären, dass die Episporiumlamelle auf der Spore Falten geworfen hat, wie z. B. bei Asp. violascens, wie Fig. 8 auf Taf. VI zeigt, so liegen doch in anderen Fällen die Verhältnisse wesentlich complicirter. So z. B. bei Asp. Fadyeni. Hier ist die Spore von einem äusserst mächtigen, zierlich schaumigen Episporium umgeben, welches äusserst complicirte Gestaltverhältnisse besitzt. Dass die letzteren zum Theil auf Faltungen der gequollenen Mutterzellmembranschichten zurückzuführen sind, ergibt sich bei aufmerksamer Betrachtung seiner äusseren Oberfläche

allerdings sofort, aber der innere höchst unregelmässige schaumige Bau ist auf die Weise nicht zu erklären. Vermuthlich greift hier eine Periplasmamasse formgestaltend ein, obwohl ich sie bei meinen, allerdings noch zu wenig eingehenden Untersuchungen bisher auch hier noch nicht nachweisen konnte. Auch andere Formen weisen auf ihr Vorhandensein hin, z. B. Phegopteris divergens, bei welcher das Episporium seiner Hauptmasse nach der Sporenmembran unmittelbar aufliegt, aber an zahlreichen eng begrenzten Stellen in Form von stumpfen ziemlich hohen Papillen vorgetrieben ist.

Auch hier werden erst umfassendere vergleichende Untersuchungen volle Klarheit herbeiführen können.

REGISTER.

Acanthaceen 58. 260. 262.
Acer 41.
Acetabularia 287. 306.
Achlya 312.
Achnanthes brevipes 159. 169.
Aconitum Napellus 34.
Acorus 261.
— Calamus 26.
Actinophrys 108.
Actinosphaerium 118.
Aethalium 97. 100.
Aethusa Cynapium 58.
Agapanthus 40.
Agaricus 29.
Agave Salmiana 53.
Aglaozonia reptans 230. 246.
Agrostemma 263.
— Githago 40. 41.
Alisma 248.
Allium 195.
— fallax 197.
— odorum 203.
Aloë spinulosa 47. 50. 164.
Alopecurus 263.
Althaea rosea 40. 322.
Amaryllidaceen 15. 192.
Ambronn 281, Anm.
Amoeba 99. 153.
— terricola 109.
Amphora ovalis 140. 142. 159.
Anadyomene 142. 300. 305.
Anchusa 278.
Andreaea 248.
Androsaemum 25.
Anomoeoneis sphaerophora 159. 169.
Anthericum graminifolium 165. 207. 210. 213—216.
Anthoceros 20. 52. 147. 212. 216. 217.
Anthurium Scherzerianum 20.
Antithamnion 284.
— cruciatum 276.
Apocyneen 29. 30.
Archidium phascoides 248.
Ardisia crenulata 31.
Aristolochia clematitis 26. 261. 269.
Aroideen 269. 283.
Arthrocladia 57.
Asarum 261. 269.
— europaeum 26.
Ascaris megalocephala 183. 200. 201. 203. 205.
Ascidien 182.
Asclepiadeen 30.
Ascobolus furfuraceus 298. 299.
Ascomyceten 297. 300.
Askenasy 282.
Asperococcus 57. 143.
— bullosus 57.
Aspidium 143.
— Fadyeni 323.
— Serra 193. 259.
— trifoliatum 289.
— violascens 323.
Asplenium Belangeri 323.
Astragalus Cicer 39—41.
Atrichum 248.
Auerbach 182. 196.
Azolla 71.

Bacterien 129.
Balbiani 46. 47.
Bangia 125.
Bangiaceen 52.
Baranetzky 100.
Barbula 248.
de Bary, A. 1. 24. 95. 97. 102. 115. 160. 161. 162. 168. 180. 209. 218. 272. 299. 308. 309. 313. 316. 317.

Batrachospermum 274.
Bauke 246. 247.
Baumann 74.
Benecke 105. 106.
Beneden, E. van 182. 183. 184. 200. 201. 203.
Blechnum glandulosum 289.
Bokorny 74.
Bornetia 13. 18. 44. 142. 143. 180. 267. 270.
Borragineen 15. 158.
Botrydium granulatum 94. 287. 300. 301. 303—306.
Brachypodium 247.
Brandt, A. 196.
Brandt, K. 43. 71.
Braun, A. 121.
Brefeld 305.
Briosi 53.
Bromelia Ananas 53.
Bruecke 12. 105. 106. 117. 123. 150. 151.
Bryopsis 14. 51. 52. 54. 59. 82. 85. 86. 89. 152. 158. 163. 175. 197. 208. 209. 210. 267—270. 274. 300. 301. 304—306.
cupressoides 267. 302.
Büsgen 312. 313. 314.
Bütschli 77. 105. 182. 196.
Bulbochaete 288. 290.

Callithamnion 139. 141. 142. 180. 232. 244. 282.
— Borreri 232. 276.
— corymbosum 60. 142. 173.
— thujoides 232. 276.
Caltha 196.
Canella alba 26.
Canna 52.
Capsella 248.
Carnoy 48.
Carum Bulbocastanum 247.
Castagnea 57.
polycarpa 94.
Caulerpa 19. 20. 21. 259. 260. 262.
Cedrus Libani 14.
Ceramium 60. 141. 172. 173. 244. 246. 276. 282.
tenuissimum 173.
Ceratodon 248.
Ceratophyllum 119.
Ceratozamia 41. 203. 204.
Certes 71.
Chaetomorpha 300.
Chaetopeltis 93. 244. 245.
Chaetophora 141. 159.
Chaetophoreen 18. 143. 159. 166. 168. 169. 244. 277. 290. 295.
Chaetopteris 57.
Chantransia 141.
Chara 72. 115. 175. 196.
— foetida 306.
Characeen 59. 63. 119. 121. 122. 123. 148. 152. 153. 157. 306.
Chelidonium 247.
Chironomus 60. 175. 310.
Chlamydococcus 141.
Chlamydomonas 141. 168.
Chlorophytum Sternbergianum 40. 41.
Chondriopsis 59.
Chrysymenia uvaria 174.
Chylocladia 93. 139. 172. 180.
kaliformis 174. 217.
Chytridiaceen 95.
Cichorium Intybus 322.
Cienkowski 90. 93. 104.
Ciona intestinalis 182.
Cisielski 285.
Citrus Aurantium 24.
Cladophora 19. 142. 159. 160. 166. 168. 169. 179. 186. 187. 208. 219. 211. 212. 217. 218. 244. 264. 267. 269. 270. 287. 300. 303. 305.
— arcta 159.
— fracta 275.
— glomerata 301.
Cladophoreen 44. 166. 181.
Cladostephus 244.
Clarkia 278.
Clematis 17.
Cleome viscosa 144.
Closterium 58. 116. 141. 142. 161. 162. 168. 169.
— Lunula 51.
Cobaea scandens 322.
Codium 15. 57. 158. 197. 209. 210. 300. 305.
Cohn 106. 290.
Conferva 18. 141. 159. 275.
— amoena 145. 275.
Conjugaten 15. 116. 140. 160. 161. 168. 244.
Convolvulus tricolor 263.
Coprinus 269.
Cordyline vivipara 20.

Corydalis 247.
— cava 215.
Cosmarium 138. 142. 162. 272.
— Botrytis 162. 272. 317.
— moniliforme 161.
— orbiculare 161.
Craterospermum 161. 180. 264.
— laetevirens 218.
Crouania annulata 232.
— bispora 276.
Cryptonemiaceen 282.
Cucurbita 61. 119. 152.
Cucurbitaceen 161.
Cunonia capensis 219.
Cutleria 57. 129.
Cutleriaceen 290.
Cycadeen 41.
Cycas revoluta 157. 158.
Cymbella 142. 145.
— gastroides 159.
Cynareen 28.
Cyperaceen 281.
Cypripedium 199.
— barbatum 40.
— insigne 40. 41. 199.
Cystosira 59.

Dahlia 261.
Darwin, Ch. 83.
Darwin, Fr. 106.
Dasya elegans 276.
Dasycladus clavaeformis 72. 147. 163. 312.
Dehnecke 73.
Delesseria 230. 231. 246. 256.
— Hypoglossum 174.
Delphinium Consolida 263.
— Staphysagria 39.
Derbesia 57. 72. 158. 163. 197. 267. 274.
— Lamourouxii 147. 312.
— neglecta 165. 312.
Desmidieen 15. 58. 116. 128. 138. 140. 141. 142. 161. 162. 168.
Desmidium 162. 209. 272.
Diatomeen 42. 52. 125. 127. 138. 140. 141. 142. 145. 159. 160. 169. 272. 276.
Dictyostelium 101.
Dictyota 230. 231. 232. 246.
Dictyotaceen 57. 85. 143. 314.
Dictyuchus clavatus 312.
Didymium serpula 90.
Difflugia 43.
Dioon 41.
Dippel 17.
Dipsacus 106.
— laciniata 158.
Dodel 296. 297. 305.
Dracaena umbraculifera 53.
Draparnaldia glomerata 51. 141. 143. 159.
Drosera 55. 77.
Dudresnaya 282.
— purpurifera 174.

Ecbalium 261.
Echiniden 182. 205.
Echinus microtuberculatus 182. 183.
Ectocarpus 244.
— abbreviatus 57.
— pusillus 57.
— siliculosus 57. 94. 129. 276.
Eimer 196.
Elachistea stellaris 57.
Elaeagnus 283.
Elodea 63. 119. 120. 122. 123. 152.
Engelmann, Th. W. 42. 107. 108. 128. 129.
Ephedra 287. 314.
— distachya 40.
Epithemia 141. 142.
— turgida 159.
Equisetaceen 251.
Equisetum 59. 179. 192. 206. 207. 230. 250.
— arvense 13. 188. 192. 193. 196. 210. 231. 250. 307.
— limosum 323.
Eranthis hiemalis 147. 215. 216. 255. 313.
Eremosphaera 265.
Erythrotrichia 93. 125. 126.
Euastrum 162. 272. 273.
Euglena 54.
Euphorbiaceen 30.
Eutoca viscida 263. 279.

Faivre 31.
Farne 129. 147. 251.
Fayod 291.
Feist 34 ff.

Ficus elastica 21. 260. 269.
Fisch 42.
Fischer, Alf. 148. 168. 209. 287.
Flagellaten 128.
Flemming 46 ff. 49. 59—62. 175. 182. 183. 194. 197. 198. 199. 220—203.
Florideen 51. 85. 139. 140. 172—174. 274. 276. 277. 290. 314.
Fol 182.
Frank 25. 150.
Fritillaria 50. 195. 200. 201. 207.
Frommann 59.
Frosch 175.
Fucaceen 85. 314.
Fucus 129.
Funaria 284.
Funkia Sieboldiana 213. 214. 216.

Gad 98.
Galanthus nivalis 49. 50. 72. 192. 195. 200. 201. 207. 215.
Gardiner 32. 33.
Geranium collinum 321.
— cristatum 321.
— pratense 248.
— sanguineum 321.
Gingko 287. 314.
Giraudia 57.
Godlewski 53.
Göbel 232. 254. 306. 307.
Goldfussia glomerata 60. 122. 260.
— isophylla 260.
Gomphonema constrictum 159. 169.
Gramineen 263. 281.
Greef 109.
Griffithia 13. 18. 44. 142. 143. 180. 181. 267. 270.
— barbata 267. 268.
— opuntioides 270. 276. 277.
— Schousboei 174.
Gromia 43.
Guignard 196. 199. 201. 205. 206.
Guttulina Protea 95. 109. 114.
Gypsophila 41.

Haberlandt 166.
Haliseris 246.
Halodictyon mirabile 174.
Halopteris 57.
Halosphaera viridis 140. 265. 297. 308. 311. 313.
Halymenia 180. 282.
Hanstein 12. 59. 61. 78. 79. 117. 122. 123. 150. 151. 164. 219. 247. 248.
Hartig 79.
Hartwegia comosa 52. 172.
Hedera Helix 14. 38. 157. 158.
Hedychium angustifolium 28.
Hegelmaier 147. 196. 213. 215. 247. 248.
Heidenhain 118.
Heitzmann 59.
Heliozoen 97. 118.
Helleborus 202. 247.
— abschasicus 322.
— graveolens 322.
— viridis 40.
Helm 164.
Hemerocallis 48.
— disticha 290.
Hertwig, R. 43. 104. 182.
Heteranthera reniformis 278.
Heuser 195. 199. 203. 204. 205.
Hibiscus africanus 41.
Hiller 262. 278.
Himanthidium pectinale 159. 169.
Höhnel 15. 16. 24. 25. 31. 40.
Hofmeister 54. 85. 86. 89. 115. 151. 248. 277.
Hormidium 277.
Hoya variegata 40. 41.
Humulus 164.
Hyacinthus 20. 212. 230. 321.
— candicans 321.
— orientalis 39. 47. 49. 50. 164. 192. 193. 195. 199. 200. 201. 203. 205. 207.
Hydra 72.
Hydrocharis 86. 89. 119.
Hydrodictyon 287. 300.
Hydrophyllaceen 263.
Hypecoum 247.
Hypericum 25.
— calycinum 38.
— perforatum 280.

Ilex Aquifolium 18. 27. 41.
Impatiens tricornis 20.
Joensson, Bengt 100.
Johow 49. 175.
Iris 53. 321.
— germanica 172.
— lutescens 213.
Isoëtes 20. 147. 212. 216. 217. 247.

Juncaceen 279. 281.
Juranyi 203.

Kallen 29. 30. 50.
Katze 175.
Kienast 24.
Kienitz-Gerloff 247. 248. 250.
Kitaibelia vitifolia 40.
Klebs 54. 128.
Klein, J. 57. 95. 104.
Klein, L. 249.
Kny 232. 246.
Koch 248.
Koehne 262. 263. 278. 280.
Kohl 285. 286.
Kolderup-Rosenvinge 275.
Krabbe 257.
Kühn 248.
Kühne 6.

Lamarle 254.
Laurentia pinnatifida 174.
Laurus 261.
— nobilis 26.
Lavatera arborea 40.
Leathesia umbellata 57.
Lebermoose 323.
Leitgeb 316. 323.
Lemna 71.
Lepidium 263.
Lepidopteren 164.
Leptomitus lacteus 312.
Leptophrys 104.
Lesser 104.
Leucojum 192. 195. 199. 200. 201. 203. 207.
Ligustrum 33. 40. 230.
Liliaceen 15. 47.
Lilium 195. 200. 201. 207. 321.
— Martagon 213. 214.
Linum 278.
Liquidambor styraciflua 27.
Liriodendron 269.
Lobelia 29.
Löw 74.
Lürssen 36.
Lychnis calcedonica 40. 41.
— dioica 61.
Lycopodium clavatum 320—323.
Lythrum Salicaria 278.

Magnolia 261.
— Norberti 144. 269.
Magnoliaceen 21. 269.
Malope grandiflora 40.
Malva crispa 323.
— sylvestris 40.
Malvaceen 14.
Mamillaria crocidata 261.
Marattiaceen 36.
Marchantia 266.
Marsilea 144. 147. 148. 323.
Melanophyceen 57.
Melosira varians 141. 158.
Melsens 219.
Mensbrugghe, van der 91. 111.
Menyanthes 41.
Mesocarpeen 56.
Mesocarpus 15. 140. 142. 161. 162. 166. 168. 169. 180.
Mesogloeaceen 57.
Metschnikoff 196.
Metzgeria 230. 231. 232. 250. 256.
Meyer, Arth. 30. 50—54. 167. 172.
Micheli 157.
Micrasterias 272. 273.
Microdictyon 142.
Mikosch 172.
Mohl 1. 78. 79. 186.
Molisch 260.
Monas amyli 90. 93.
Monospora 276.
— pedicellata 13. 173. 174.
Montgomery 98.
Moose 85. 251.
Mougeotia 140. 161.
Mucor 267. 268. 271. 296. 305. 313.
Müller, N. J. C. 27.
Mycetozoen 95. 97. 100. 115.
Myosotis 278.
Myosurus 214. 215.
Myrionema 141.

Nägeli 1. 5. 53. 80. 86. 116. 121. 123. 127. 128. 160. 162. 262.
Navicula 142.
Neidium amphirrhynchum 169.
Nemalieen 52.
Nemastoma 93.
Nemastomeen 274.
Nemophila insignis 263.

Neottia nidus avis 254. 256.
Nereia Montagnei 57.
Nerium 41.
Nicotiana 248.
— longiflora 58.
Nitella 123. 124.
Nitophyllum 172.
— laceratum 139.
Nitzschia Palea 169.
Nostocaceen 274.

Oedogonieen 85.
Oedogonium 18. 19. 142. 159. 160. 166. 287. 288. 290. 300. 302.
Oenothera 248.
Olpidiopsis 148.
Opuntia 284.
Orchideen 15. 21. 145. 199.
Orobanche 248.
Oscillaria 42. 128.
Oxalis Deppei 39.
— Valdiviana 263.

Palmellaceen 141.
Panax arboreum 38.
Pancratium 321.
Papaver Rhoeas 192. 193. 261.
Papaveraceen 29.
Papilionaceen 215.
Pedicularis 19. 259. 260. 262.
Pelargonium zonale 56. 61. 164. 263.
Pelomyxa palustris 109.
Penium 116. 142. 161. 169.
— Ralfsii 161.
Peperomia 261.
magnoliaefolia 25.
Peronospora 299. 313.
— Alsinearum 316.
— arborescens 316.
— intermedia 316.
Peronosporeen 297. 299.
Petroselinum 247.
Petunia hybrida 263.
Peziza 299.
— aurantia 299. 318. 320.
— cupularis 299.
— hirta 299. 318. 320.
— vesiculosa 299.
Pfaundler 71.
Pfeffer 12. 44. 58. 67. 71. 80. 129. 151. 153. 154. 249. 250. 282. 285.
Pfitzer 141. 142. 158. 159. 160. 169. 170.
Pfitzner 47. 72. 197. 198. 201.
Phacelia circinnata 263. 266. 279.
Phaeosporeen 15. 51. 56. 93. 274. 287. 290. 295.
Phajus 50. 52.
Pharbitis hederacea 29.
Phascum 248.
Phegopteris divergens 324.
Philodendron grandifolium 261.
Phleum 263.
Phlox decussata 263.
Phycomyces 285.
Phycomyceten 312.
Phythophthora 299.
Phytolacca 40. 41.
Pinguicula 246.
Pinnularia viridis 142. 159. 170.
Pinus 279.
— austriaca 38.
— Mughus 14.
Pistacia Lentiscus 14.
Pitcairnea sulphurea 53.
Pittosporum Tobira 18. 27. 38.
Placopus ruber 104.
Plateau 6. 87. 219. 256. 257.
Plumbago capensis 263. 266.
europaea 40. 41.
Podosira 58.
Polyedrium 273.
Polygoneen 215.
Polypodiaceen 247.
Polysiphonia 13. 139. 143. 172. 232. 244. 246. 282.
— elongata 174. 276.
— pennata 276.
— platyspira 143.
Polysphondylium 101.
Pontederia crassipes 40.
Porphyra 125.
Potentilla anserina 263.
Pringsheim 1. 12. 53. 122. 146. 148. 151. 186. 248. 262. 288. 301. 305.
Protozoen 95. 05. 153.
Pteris serrulata 251.
Pterothamnion 172. 173. 284.
floccosum 73.
Pulmonaria 215.
Punctaria 142.
Pythium 299.

Quincke 6. 91. 93. 108. 160.

Rabl, C. 198.
Radiolarien 42. 97. 102. 104. 107. 108. 118. 152. 154.
Ralffsia 141.
Rauber 256.
Rees 251.
Reinke 49. 75. 79. 124. 232.
Rhamnus Frangula 33.
Rhipsalis rhombea 53.
Rhizopoden 42. 97. 102. 104. 107. 108. 152. 153. 154.
Rhus glabra 14. 31. 33.
Ricinus 119.
Rosa centifolia 263.
Rosanoff 54.
Rostafinski 303. 304.
Rozella 287.
Ruellia formosa 58.
— ochroleuca 260.
Rumex 192. 193.
Russow 23. 32. 35. 37. 264.
Rutaceen 24.

Saccharum 263.
Sachs 4. 12. 44. 70. 80. 83. 85. 106. 113. 246. 248. 252. 253. 274. 284. 285.
Sadebeck 250.
Salamandra 175. 198. 200—204.
Salvia argentea 61.
Salvinia natans 230. 248. 249.
Sambucus 278.
— nigra 21.
Sanio 264.
Sanseviera carnea 40. 41.
Saponaria 41.
Saprolegnia 60. 61. 77. 95. 129. 148. 175. 178. 180. 267. 268. 269. 271. 274. 288. 296. 297. 308. 310. 313.
— ferax 308—310. 312.
— monoica 312.
Saprolegnieen 312. 314.
Sarracenia 56.
Saxifraga crassifolia 39.
Scabiosa caucasica 263.
Schaarschmidt 38.
Schacht 260. 308.
Schenk 32 ff.
Schimper 50—55. 65. 139. 140. 151. 158. 166. 167. 172.
Schinus molle 27. 38.
Schizophyten 77.
Schmidt, E. 29. 30.
Schmitz 12. 17. 49. 50. 52. 54. 57. 59—63. 139. 140. 141. 158. 159. 160. 167. 171. 175. 208. 260. 262. 270. 275. 293. 298. 305. 306. 311. 317.
Schorler 50.
Schullerus 31.
Schultze, Max 1. 6. 42. 116. 118. 127.
Schulze, Fr. Eilh. 104. 105. 109. 110.
Schwendener 232.
Scindapsus pinnatifidus 261. 269.
Scytosiphon lomentarium 94. 129.
Selaginella 129. 249. 250.
Sempervivum Parmentieri 144.
Silene gonocalyx 40. 41.
Silybum Marianum 28. 58. 261.
Sinapis alba 285.
Sparmannia acrifolia 20. 39.
Spermothamnion 13. 284.
— Turneri 270.
Sphacelaria tribuloides 57.
Sphaeroplea annulina 291.
Sphaerozosma 162.
Sphagnum 209. 259. 261. 266. 270.
Spirogyra 52. 61. 71. 86. 116. 141. 142. 146. 162. 166. 168. 169. 179. 197. 208—212. 214. 217. 218. 244. 264. 265. 277. 279.
— nitida 58. 141. 145. 163. 164. 209.
— princeps 277.
— quinina 208.
Spirotaenia 162. 265. 316. 318. 320.
Sporochnus 57.
Stachys palustris 278.
Stahl 100. 101. 128. 150. 157. 192. 284.
Stapelia 157. 158.
Staphylea pinnata 36. 215.
Staurastrum 162. 272. 273.
Staurospermum 138. 142. 161. 180.
Stemoniteen 101.
Stigeoclonium 159.
Strasburger 12. 17. 20. 42. 46 ff. 50. 51. 59. 65. 72. 77. 79. 80. 147. 151. 152. 153. 165. 175. 181. 182. 186. 192. 194—197. 199—208. 210—217. 251. 253. 255. 260. 262. 264. 270. 287. 288. 291. 294. 296. 298. 301. 308. 314—316. 320—323.

Strelitzia Reginae 53.
Stypocaulon 20. 166. 244. 274.
Suriraya 145. 146. 160.

Taonia 230. 231. 232. 246.
Terletzki 32.
Terquem 87.
Tetmemorus minutus 161.
Thuret 15. 291. 292. 302. 305. 314.
Thladiantha dubia 60. 105.
Tieghem, Ph. van 25.
Tiliaceen 14.
Tolpis umbellata 266. 279.
Tomlinson 91. 97. 98.
Toxopneustes 175.
Tradescantia 20. 21. 49. 61. 118. 145. 152. 179. 195. 196. 199. 200. 201. 203. 204. 206. 207.
— subaspera 192. 193. 207.
— virginica 47. 48. 187. 190. 197. 201. 206. 208. 289.
— zebrina 50.
Tragopogon 192.
Trianea 59. 71. 86. 89. 105. 119. 122. 152. 153.
Triticum 263.
Tropaeolum 247.
Tsuga canadensis 14. 38.

Udotea 158.
Ulothrix 18. 141. 159. 168. 169. 277. 291. 297. 300. 305.
— zonata 42. 94. 295.
Ulva crispa 300.
Unio 48.
Urtica 60. 62. 152. 164.

la Valette St. George 196.
Vallisneria 61. 63. 119—123.
Valonia 13. 300. 301.
— macrophysa 140. 197.
Vampyrella 104. 108.
— pedata 95. 104.
Vaucheria 14. 58. 60. 82. 85. 86. 89. 152. 158. 163. 175. 178. 180. 208. 267. 274. 291. 292. 295. 305.
— geminata 60.
— sessilis 291. 294—296.
Velten 62. 85. 118—124.
Veronica 278.
Villarsia parnassifolia 39.
Viola tricolor 263.
Viscum album 89.
Vogelsang 113. 117.
Volvocineen 140. 265.
de Vries 56. 119. 151. 152. 153. 155.

Weber, E. H. 113. 115.
Weiss 58. 269.
Woronin 58. 303. 304.
Worthington 88.

Zacharias 16. 25. 48—52. 63. 72. 196. 197. 201. 202. 306. 307.
Zea Mays 263.
Zonaria parvula 230—232. 246.
Zopf 95. 105.
Zygnema cruciatum 15. 56. 61. 142. 161. 168. 180. 276.

TAFELERKLÄRUNG.

Tafel I.

Fig. 1. (380). Equisetum arvense, reife Spore.

Fig. 2. (720). Asarum europaeum, Drüsenzelle der Epidermis des Stengels. Bei a das der Membran ansitzende, cuticularisirte Näpfchen, welches nach Lösung des Oeles und Behandlung mit Schwefelsäure zurückbleibt.

Fig. 3. (720). Lychnis chalcedonica, Epidermis und Cuticula des Stengels, kurze Zeit mit Chromsäure behandelt. Die dicke, schwarze Linie entspricht der Cuticularlamelle nebst den sie beiderseits einschliessenden verholzten Lamellen.

Fig. 4. Sanseviera carnea, Aussenmembran der Blattepidermis. Die cuticularisirte Lamelle ist beiderseits von einer schwarz gehaltenen verholzten Lamelle eingeschlossen. Winkel 1/21 homogene Immersion.

Fig. 5. (380). Hedera Helix, Membran des Harzganges nach schwacher Quellung mit Schwefelsäure. Die dunklen Contouren deuten die schwächer quellbaren Schichten an.

Fig. 6. Aconitum Napellus, Intercellularräume aus der Rinde der Winterknospe mit körnigen Auskleidungen. Bei a die letzteren mehr homogen. Nach Zeichnungen von Dr. Feist copirt, wie auch die folgende Figur.

Fig. 7. Der Beleg nach Behandlung mit starker Schwefelsäure abgehoben.

Fig. 8. (975). Vaucheria geminata, protoplasmatischer Wandbeleg mit drei Chlorophyllkörpern, zwei Kernen, Körnchen und zahlreichen perlschnurförmigen Fädchen.

Fig. 9. Zwei amöboide Chlorophyllkörper von Podosira Montagnei nach Schmitz, Chromatophoren Fig. 17.

Fig. 10. Conferva amoena, Schemata um die Suspension des Kernes in den Zellen zu zeigen, a optischer Längsschnitt, b Oberflächenansicht.

Fig. 11. (380). Trianea bogotensis, Wurzelhaar in stark verdünntem Glycerin. Der abgehobene Plasmakörper segmentirt sich.

Figg. 12, 13, 14. Schemata zur Erläuterung der Mechanik der Ausbreitungserscheinungen. Vergl. den Text, Seite 91 f.

Tafel II.

Fig. 1. Vampyrella pedata nach J. Klein, Botan. Zeitung 1882. Taf. IV, Fig. 30, 31. a von der Fläche, b von der Seite gesehen.

Fig. 2. Nicht näher bestimmte Amöbe im Umriss. n Zellkern, v contractile Vacuolen.

Fig. 3. (975). Castagnea polycarpa. a, b, c sich niedersetzende Schwärmer, d, e Keimpflanzen kurz nachher.

Fig. 4. (975). Sechszellige Keimpflanze, zwei Tage alt.

Fig. 5. (975). Botrydium granulatum, Schwärmer im Begriff sich niederzusetzen. Amöboid-beweglich.

Fig. 6. Pelomyxa palustris, Schema um die Strömung im Innern zu zeigen. Nach Fr. Eilh. Schulze, Arch. f. mikr. Anat. Bd. XI, Taf. XIX, Fig. 8, etwa um die Hälfte verkleinert copirt. a Hinter-, b Vorderende, bei c und d peripherischer Gürtel von fester Substanz. Bei g und h gehen die Theilchen fortwährend in den festen Zustand über, bei e und f verflüssigen sie sich umgekehrt wieder.

Fig. 7. Schema der Strömungen in einem polaren Emulsionstropfen und in dem ihn umgebenden Medium.

Fig. 8. Schemata zur Erläuterung der drehenden Bewegungen im Strome schwimmender Chlorophyllkörper von Nitella. Vergl. den Text, S. 124.

Fig. 9. Cladophora arcta, Chlorophyllkörper nach Schmitz, Chromatophoren Fig. 7. Kerne und Pyrenoide sind fortgelassen.

Fig. 10. (500). Achnanthes brevipes nach Pfitzer, Hansteins Botan. Abhandlgn. I, 2. Taf. VI, 15. g Gürtelband, s Schalenseite.

Fig. 11. Desmidium Grevillei nach de Bary. Conjugaten. Taf. IV. 30, 31. b etwas vergrössert copirt.

Fig. 12. (720). Mesocarpus spec. Chlorophyllkörper von der Fläche, eingeschnürt da wo der Kern liegt. Daneben schematischer Querschnitt der Zelle.

Tafel III.

Fig. 1. (400). Cymbella gastroides nach Pfitzer, Hanstein's Botan. Abhandlgn. I, 2. Taf. IV, 11. s Schalenseite. g_b untere, schmalere, g_r obere, breitere Gürtelbandseite.

Fig. 2. Chara foetida. Fragmentation des Kernes nach Johow. Botan. Zeitung 1881. Taf. VII, 88 und 112.

Fig. 3. (380). Kernformen aus dem jungen, noch in Theilung begriffenen Blattparenchym von Hyacinthus.

Fig. 4. (380). Ebensolche in wandständiger Lage von der Fläche gesehen.

Fig. 5. (600). Phycastrum (Staurastrum) striolatum nach Nägeli, Einzellige Algen, Taf. VIII, Fig. 3.

Fig. 6. Schema des optischen Längsschnittes von Spirogyra nitida, a mit normaler b mit abnormer Form des Kernes. Vergl. S. 164.

Fig. 7. Schema des Farbkörperquerschnittes von Spirogyra.

Fig. 8. (975). Monospora pedicellata. Farbkörper nach dem Leben.

Figg. 9, 10, 11. Schemata der Symmetrieverhältnisse im Plasmakörper des sich theilenden Echinideneies. Vergl. S. 183 ff.

Fig. 12. Schema der Symmetrieverhältnisse in der Pollenmutterzelle von Tradescantia virginica während der Häutung. k Kern, n Nucleolus, a die stärkeführenden Plasmaschichten, b die Schichten, denen der Kern eingelagert ist.

Fig. 13. (720). Tradescantia virginica. Pollenmutterzelle in Theilung. Aequatorialplatte.

Fig. 14. (720). Fortgeschritteneres Stadium. Stärkering in der Peripherie der Aequatorialebene.

Fig. 15. (720). Zweiter Theilungsschritt. Links Stärkeplatte in der Aequatorialebene, rechts ist die Zellplatte schon aufgetreten. Zwischen ihr und den Tochterkernen Stärke.

Fig. 16. (380). Anthericum graminifolium. Erste Vorbereitungen bei Beginn der Zellbildung im Wandbeleg des Embryosacks.

Tafel IV.

Figg. 1—5. Schematische Darstellung der Symmetrieverhältnisse in den Sporen von Equisetum arvense während der ersten Theilung. k Zellkern mit Nucleolus, c die den Kern umgebenden farblosen Plasmaschichten, b chlorophyllführende Plasmaschichten, a farbloses, der Zellwand aufgelagertes Plasma mit eingelagerten linsenförmigen Tröpfchen (Vergl. auch Taf. I, Fig. 1).

Fig. 6. Befruchtetes Ei von Ascaris megalocephala nach van Beneden. Arch. de biologie. Tome IV. Taf. 19. Fig. 4. Polkörper und Aequatorialplatte in Längstheilung begriffen.

Fig. 7. (285). Zwei Zellen aus dem Parenchym des Blattes von Galanthus nivalis, in Theilung begriffen. Bei a ist zwischen den weit auseinandergetretenen Tochterkernanlagen die Zellplatte entstanden, bei b haben sich die Tochterkerne wieder genähert, der jungen Wand angelagert.

Fig. 8. (285). Früheres Stadium. Der in der ruhenden Zelle wandständige Kern ist mit der grösseren Menge des Plasma in die Zellmitte gewandert.

Fig. 9. (720). Centrale Plasmamasse mit den Tochterkernen und der entstehenden Membran zwischen ihnen aus dem jungen Endosperm von Anthericum graminifolium. Zwischen der jungen Membran und den Tochterkernen sind Vacuolen aufgetreten.

Fig. 10. (285). Zwei Randzellen des Thallus von Aglaozonia reptans.

Fig. 11. (380). Randzellen von Taonia atomaria, Längstheilungen. Bei a setzt sich die Längswand seitlich unter spitzem Winkel an.

Fig. 12. (285). Randzelle von Zonaria parvula. Durch eine sich mit spitzem Winkel unten seitlich ansetzende Wand ist eine Kante abgetrennt worden.

Fig. 13. Hälfte eines jungen Thallus von Chaetopeltis orbicularis. Die links gelegene Quadrantenzelle ist bedeutend stärker gewachsen als die zweite rechts gelegene. Sie hat sich durch die abwechselnd geneigten Anticlinen 3—6 getheilt, in entsprechender Weise auch ihr zweites von den Wänden 2 und 4 eingeschlossenes Segment. Der rechts gelegene Quadrant hat sich in regelmässiger Abwechslung durch Periclinen und Längswände gefächert.

Fig. 14. Scheitel junger Farnprothallien copirt nach Bauke, Beilage zur Botan. Zeitung 1880. a nach Taf. III, 38; b V, 86; c IV, 56; d III, 39; e IV, 55; f IV, 58; g IV, 61. a und d Gymnogramme tartarea; c, e, f, g G. decomposita; b Allosorus rotundifolius. In a, e, d finden sich an der Spitze zwei Scheitelzellen, bei d ist aber in der rechts gelegenen infolge starken Breitenwachsthums zuletzt eine Längswand aufgetreten. In c und f hat sich, nachdem sich der Faden früher eine Zeitlang quergetheilt, eine keilförmige Scheitelzelle herausgebildet. In b ist die entsprechende Segmentirung sehr frühzeitig aufgetreten, entsprechend dem Verhalten der Moosembryonen. Bei g ist die weitere Ausbildung und Fächerung der durch Quertheilung entstandenen Segmente von besonderem Interesse.

Tafel V.

Figg. 1—7, 9—13. Schemata zur Erläuterung der Ausführungen in Kapitel 7. Vergl. den Text.

Fig. 8. (790). Scheitel von Polysiphonia subtilissima, copirt nach Pringsheim's Jahrbüchern. Bd. XIII. 1882. Taf. 21. Fig. 1.

Fig. 14. (480). Scheitel zweier Embryonen von Archidium phascoides nach Kienitz-Gerloff, Botan. Ztg. 1881. Taf. VIII. Fig. 5 und 6. a jüngeres, b älteres Stadium, nach Verschwinden der keilförmigen Scheitelzelle.

Fig. 15. (480). Drei junge Scheiben von Chaetopeltis orbicularis genau nach der Natur gezeichnet. (Vergl. den Text, S. 245.)
Fig. 16. Scheitelpartie des jungen Prothalliums von Lygodium japonicum nach Bauke, Beilage zur Botan. Zeitung 1880. Taf. II. Fig. 30.

Tafel VI.

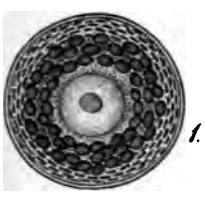
Fig. 1. Neottia nidus avis. Pollentetraden aus ein und derselben Anthere. Nach Goebel, Arbeiten des Würzburger botan. Instituts. Bd. II, S. 441.
Fig. 2. Scheitel von Salvinia natans, copirt nach Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. III. Taf. 24, Fig. 3.
Fig. 3. (480). Scheitel und Randpartie von Delesseria Hypoglossum mit spitzwinkligem Ansatz der Zellwände. Nach dem Leben.
Fig. 4. Entwicklung der Antheridien von Pteris serrulata nach Strasburger, Pringsheim's Jahrb. VII. Taf. 25, 1 und 2.
Fig. 5. (380). Kleiner Theil der Blattfläche von Elodea canadensis, genau nach dem Leben, um die Krümmungen der Wände zu zeigen.
Fig. 6. (720). Theil eines Drüsenköpfchens von Collomia grandiflora. Ebenso.
Fig. 7. (400). Epidermiszellen mit inneren Vorsprüngen der Wände nach Koehne, Berichte der botan. Ges. Bd. II, Taf. II, 20 und 24. a von Hypericum perforatum, b von Agrostemma Githago.
Fig. 8. (480). Aspidium violascens, Spore mit Epispor.
Figg. 9 und 10. (285). Umrisszeichnungen von Euastrum und Micrasterias sp.

Tafel VII.

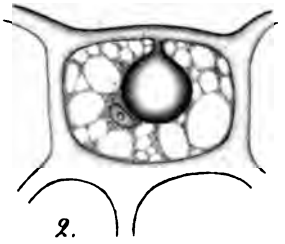
Fig. 1. (105). Stammpartie von Callithamnion thujoides. Bau der Membran nach schwacher Quellung.
Fig. 2. (285). Achsenzelle von Antithamnion cruciatum, mit Essigsäure kurze Zeit behandelt.
Fig. 3. (480). Scheitelzelle von Griffithia barbata. Nach dem Leben.
Fig. 4. (480). Scheitel von Bryopsis plumosa.
Fig. 5. (975). Ceratophyllum demersum, zwei am Blattrande gelegene Zellen im Begriff zu Borstenhaaren auszuwachsen. Nach dem Leben.
Fig. 6. (720). Jugendliche Zelle aus dem Diaphragma des Blattstiels von Heteranthera reniformis. Nach dem Leben.
Fig. 7. (720). Sporentetrade von Lycopodium clavatum unmittelber nach Anlegung der Membran und des Epispors.
Fig. 8. (975). Anlage der Sporen im Ascus von Ascobolus furfuraceus. Nach dem Leben.
Fig. 9. (380). Lagerung der Sporen und der axilen Schleimmasse im älteren Ascus. Nach dem Leben.
Fig. 10. (975). Obere Partie eines Ascus von Peziza aurantia. Nach dem Leben.
Fig. 11. (480). Saprolegnia ferax. Schematische Andeutung der Ballung des Plasma im Sporangium bei der Schwärmerbildung.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

Taf. I.

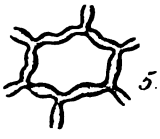


1.



2.

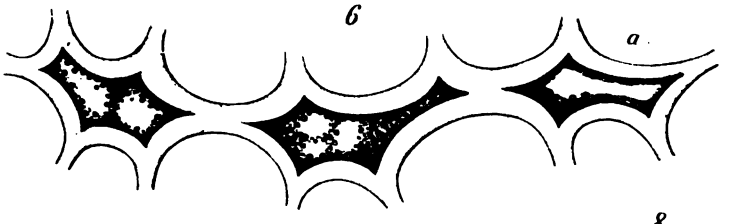
3.



5.

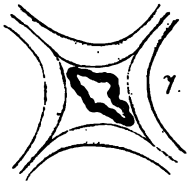
a

4.



6.

a.

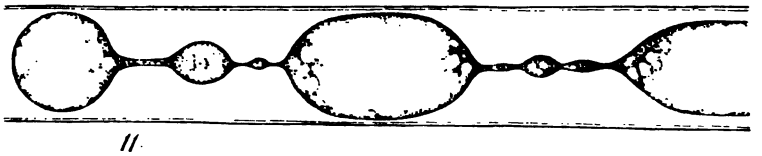


7.

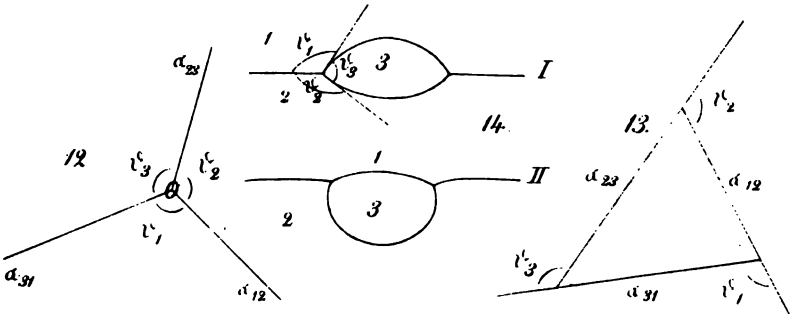
9.

a 10 b

8.



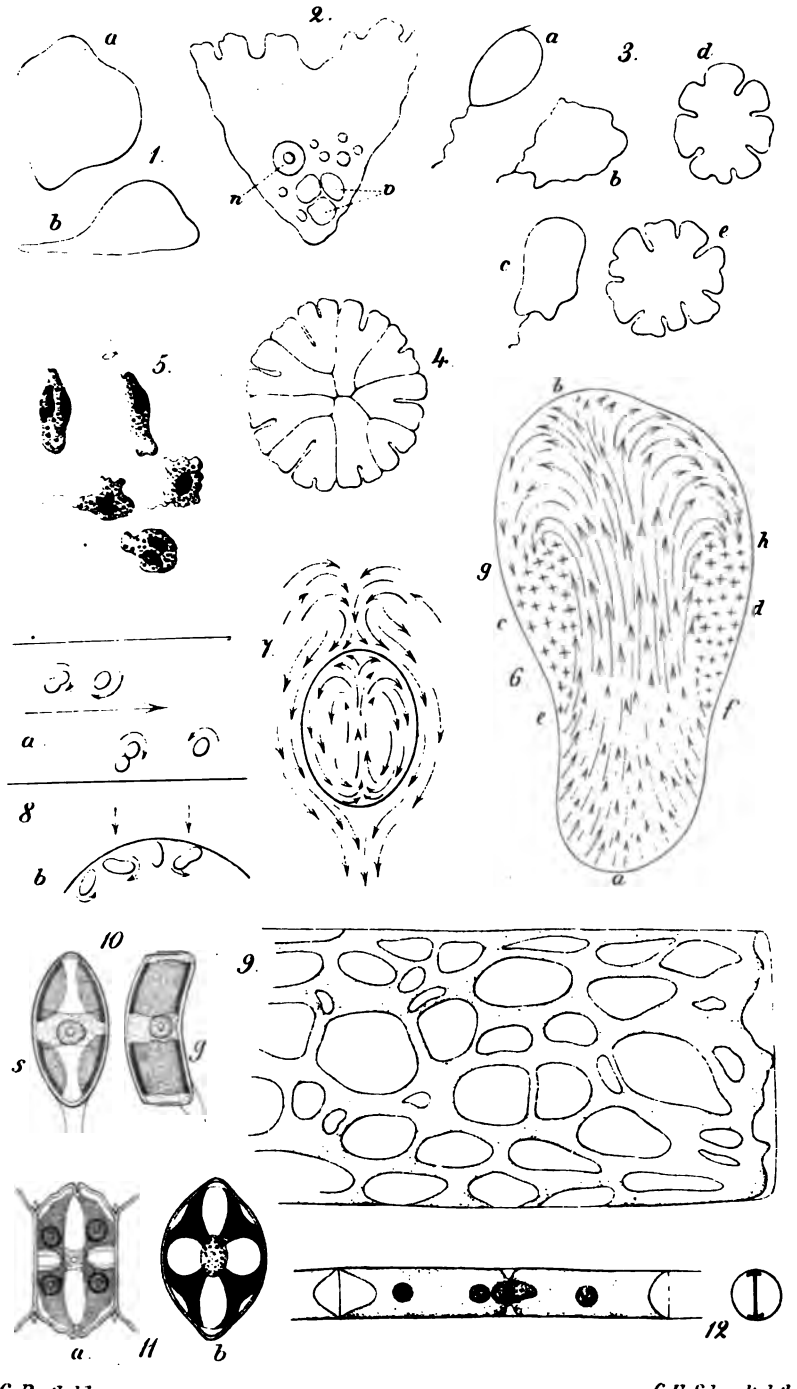
11.



G Berthold gez

C F Schmidt lith

Taf II.



G Berthold gez.

C F Schmidt lith

Fig. 15. (480). Drei junge Scheiben von Chaetopeltis orbicularis genau nach der Natur gezeichnet. (Vergl. den Text, S. 245.)

Fig. 16. Scheitelpartie des jungen Prothalliums von Lygodium japonicum nach Bauke, Beilage zur Botan. Zeitung 1880. Taf. II. Fig. 30.

Tafel VI.

Fig. 1. Neottia nidus avis. Pollentetraden aus ein und derselben Anthere. Nach Goebel, Arbeiten des Würzburger botan. Instituts. Bd. II, S. 441.

Fig. 2. Scheitel von Salvinia natans, copirt nach Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. III. Taf. 24, Fig. 3.

Fig. 3. (480). Scheitel und Randpartie von Delesseria Hypoglossum mit spitzwinkligem Ansatz der Zellwände. Nach dem Leben.

Fig. 4. Entwicklung der Antheridien von Pteris serrulata nach Strasburger, Pringsheim's Jahrb. VII. Taf. 25, 1 und 2.

Fig. 5. (380). Kleiner Theil der Blattfläche von Elodea canadensis, genau nach dem Leben, um die Krümmungen der Wände zu zeigen.

Fig. 6. (720). Theil eines Drüsenköpfchens von Collomia grandiflora. Ebenso.

Fig. 7. (400). Epidermiszellen mit inneren Vorsprüngen der Wände nach Koehne, Berichte der botan. Ges. Bd. II, Taf. II, 20 und 24. a von Hypericum perforatum, b von Agrostemma Githago.

Fig. 8. (480). Aspidium violascens, Spore mit Epispor.

Figg. 9 und 10. (285). Umrisszeichnungen von Euastrum und Micrasterias sp.

Tafel VII.

Fig. 1. (105). Stammpartie von Callithamnion thujoides. Bau der Membran nach schwacher Quellung.

Fig. 2. (285). Achsenzelle von Antithamnion cruciatum, mit Essigsäure kurze Zeit behandelt.

Fig. 3. (480). Scheitelzelle von Griffithia barbata. Nach dem Leben.

Fig. 4. (480). Scheitel von Bryopsis plumosa.

Fig. 5. (975). Ceratophyllum demersum, zwei am Blattrande gelegene Zellen im Begriff zu Borstenhaaren auszuwachsen. Nach dem Leben.

Fig. 6. (720). Jugendliche Zelle aus dem Diaphragma des Blattstiels von Heteranthera reniformis. Nach dem Leben.

Fig. 7. (720). Sporentetrade von Lycopodium clavatum unmittelber nach Anlegung der Membran und des Epispors.

Fig. 8. (975). Anlage der Sporen im Ascus von Ascobolus furfuraceus. Nach dem Leben.

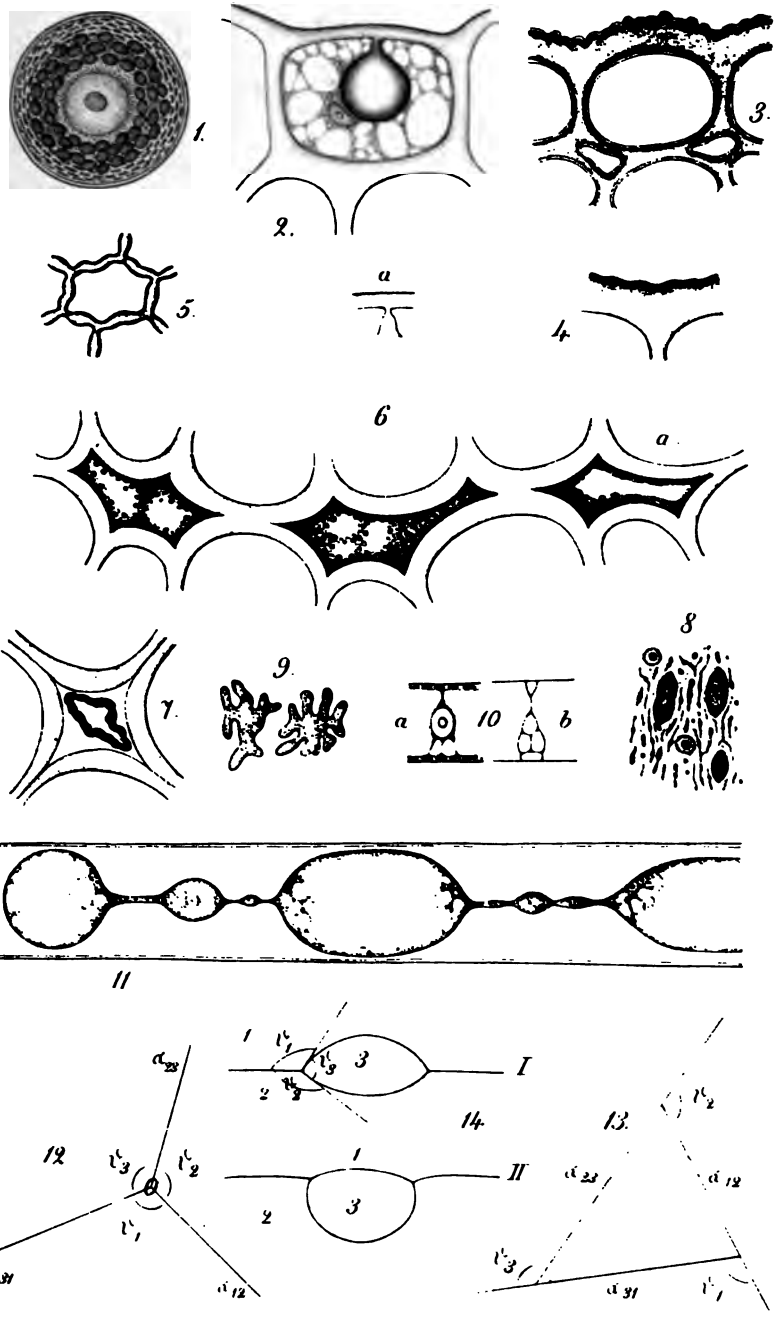
Fig. 9. (380). Lagerung der Sporen und der axilen Schleimmasse im älteren Ascus. Nach dem Leben.

Fig. 10. (975). Obere Partie eines Ascus von Peziza aurantia. Nach dem Leben.

Fig. 11. (480). Saprolegnia ferax. Schematische Andeutung der Ballung des Plasma im Sporangium bei der Schwärmerbildung.

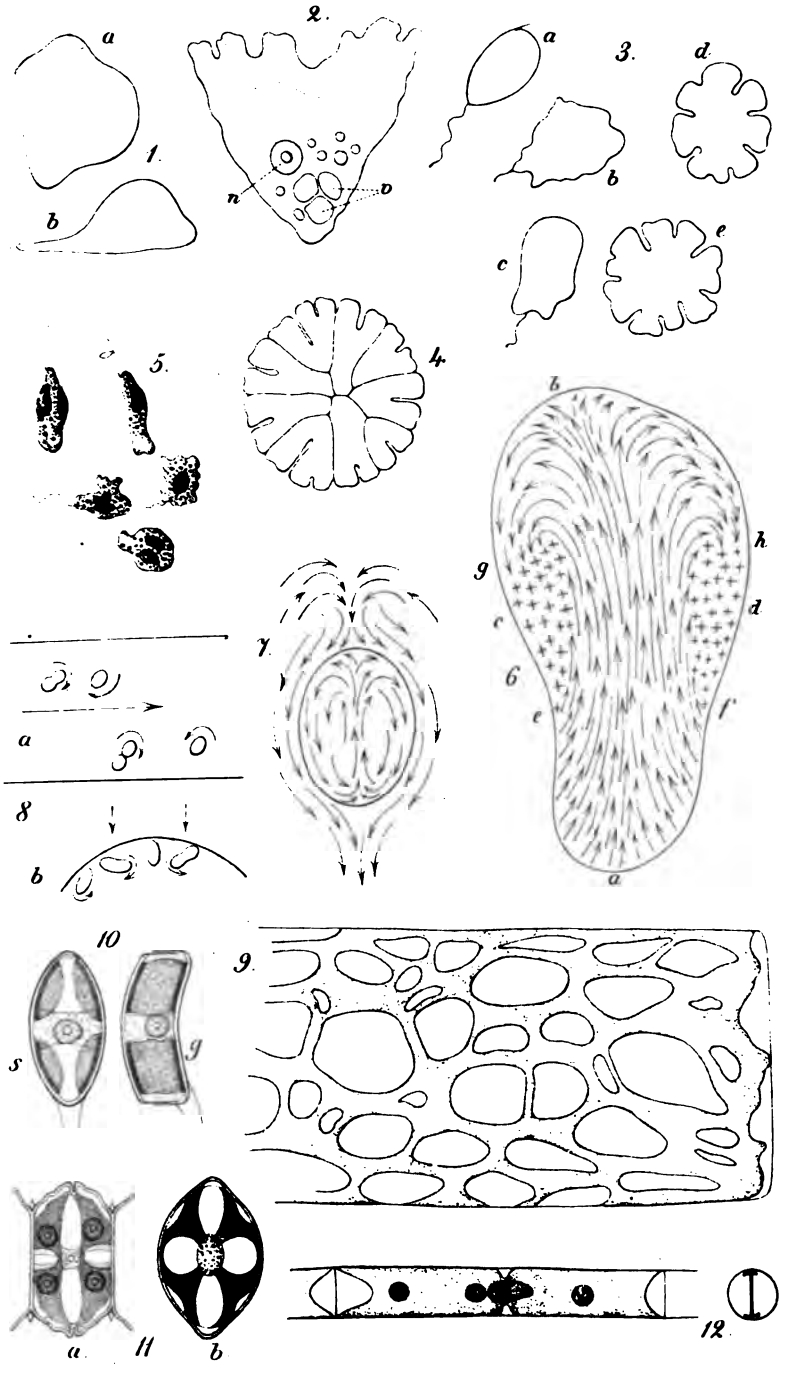
Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

Taf. I.



G Berthold gez

C F Schmidt lith



G Berthold gez.

C F Schmidt lith

Fig. 15. (480). Drei junge Scheiben von Chaetopeltis orbicularis genau nach der Natur gezeichnet. (Vergl. den Text, S. 245.)
Fig. 16. Scheitelpartie des jungen Prothalliums von Lygodium japonicum nach Bauke, Beilage zur Botan. Zeitung 1880. Taf. II. Fig. 30.

Tafel VI.

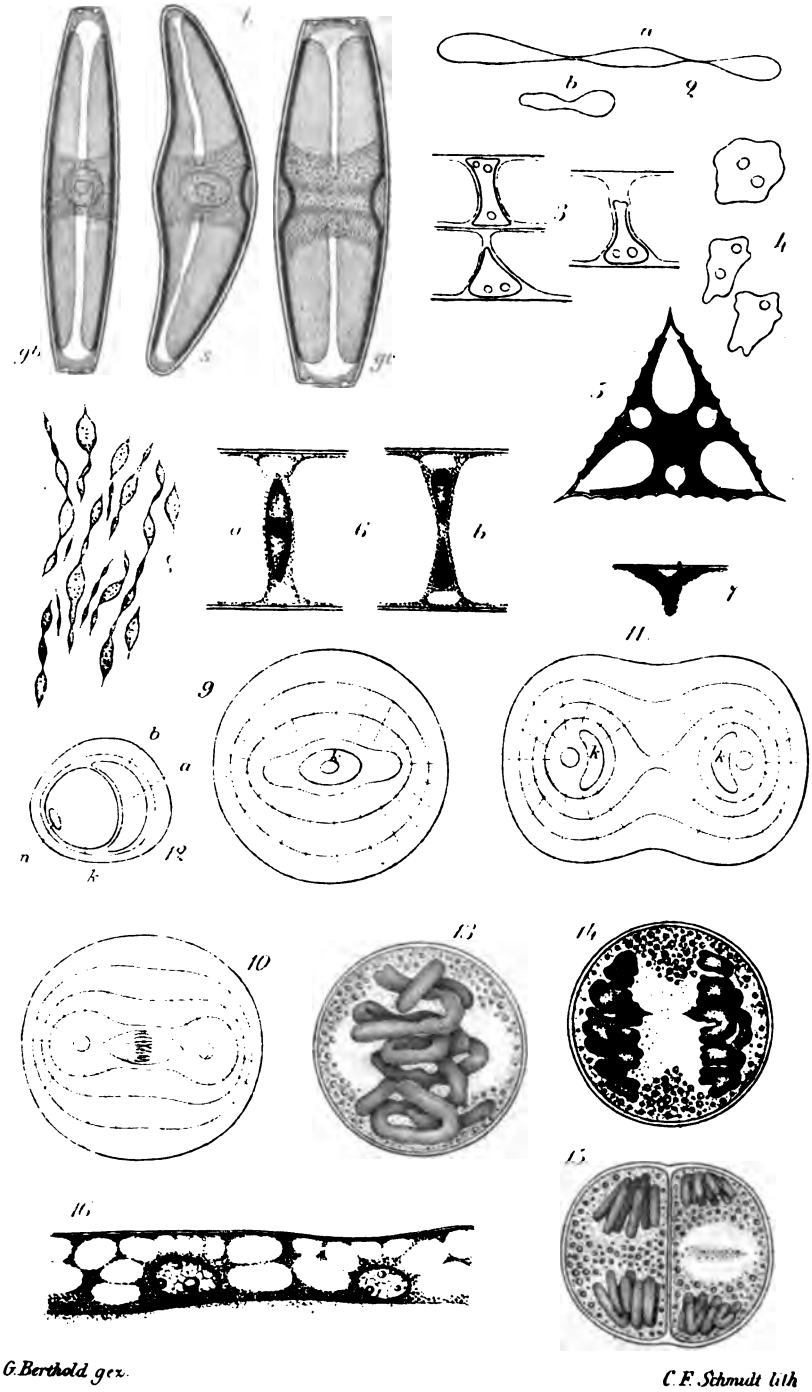
Fig. 1. Neottia nidus avis. Pollentetraden aus ein und derselben Anthere. Nach Goebel, Arbeiten des Würzburger botan. Instituts. Bd. II, S. 441.
Fig. 2. Scheitel von Salvinia natans, copirt nach Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. III. Taf. 24, Fig. 3.
Fig. 3. (480). Scheitel und Randpartie von Delesseria Hypoglossum mit spitzwinkligem Ansatz der Zellwände. Nach dem Leben.
Fig. 4. Entwicklung der Antheridien von Pteris serrulata nach Strasburger, Pringsheim's Jahrb. VII. Taf. 25, 1 und 2.
Fig. 5. (380). Kleiner Theil der Blattfläche von Elodea canadensis, genau nach dem Leben, um die Krümmungen der Wände zu zeigen.
Fig. 6. (720). Theil eines Drüsenköpfchens von Collomia grandiflora. Ebenso.
Fig. 7. (400). Epidermiszellen mit inneren Vorsprüngen der Wände nach Koehne, Berichte der botan. Ges. Bd. II, Taf. II, 20 und 24. a von Hypericum perforatum, b von Agrostemma Githago.
Fig. 8. (480). Aspidium violascens, Spore mit Epispor.
Figg. 9 und 10. (285). Umrisszeichnungen von Euastrum und Micrasterias sp.

Tafel VII.

Fig. 1. (105). Stammpartie von Callithamnion thujoides. Bau der Membran nach schwacher Quellung.
Fig. 2. (285). Achsenzelle von Antithamnion cruciatum, mit Essigsäure kurze Zeit behandelt.
Fig. 3. (480). Scheitelzelle von Griffithia barbata. Nach dem Leben.
Fig. 4. (480). Scheitel von Bryopsis plumosa.
Fig. 5. (975). Ceratophyllum demersum, zwei am Blattrande gelegene Zellen im Begriff zu Borstenhaaren auszuwachsen. Nach dem Leben.
Fig. 6. (720). Jugendliche Zelle aus dem Diaphragma des Blattstiels von Heteranthera reniformis. Nach dem Leben.
Fig. 7. (720). Sporentetrade von Lycopodium clavatum unmittelber nach Anlegung der Membran und des Epispors.
Fig. 8. (975). Anlage der Sporen im Ascus von Ascobolus furfuraceus. Nach dem Leben.
Fig. 9. (380). Lagerung der Sporen und der axilen Schleimmasse im älteren Ascus. Nach dem Leben.
Fig. 10. (975). Obere Partie eines Ascus von Peziza aurantia. Nach dem Leben.
Fig. 11. (480). Saprolegnia ferax. Schematische Andeutung der Ballung des Plasma im Sporangium bei der Schwärmerbildung.

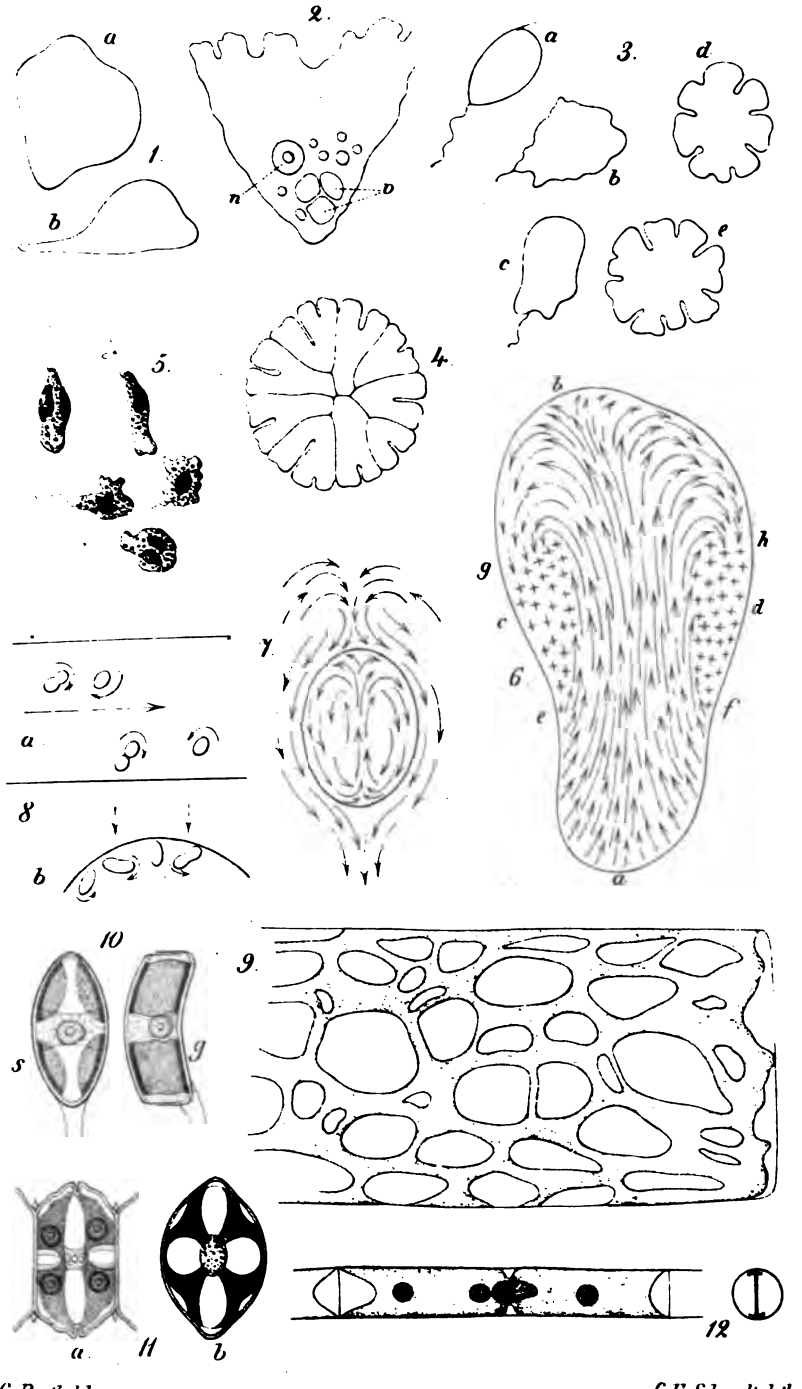
Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

Taf III



G. Berthold gez.

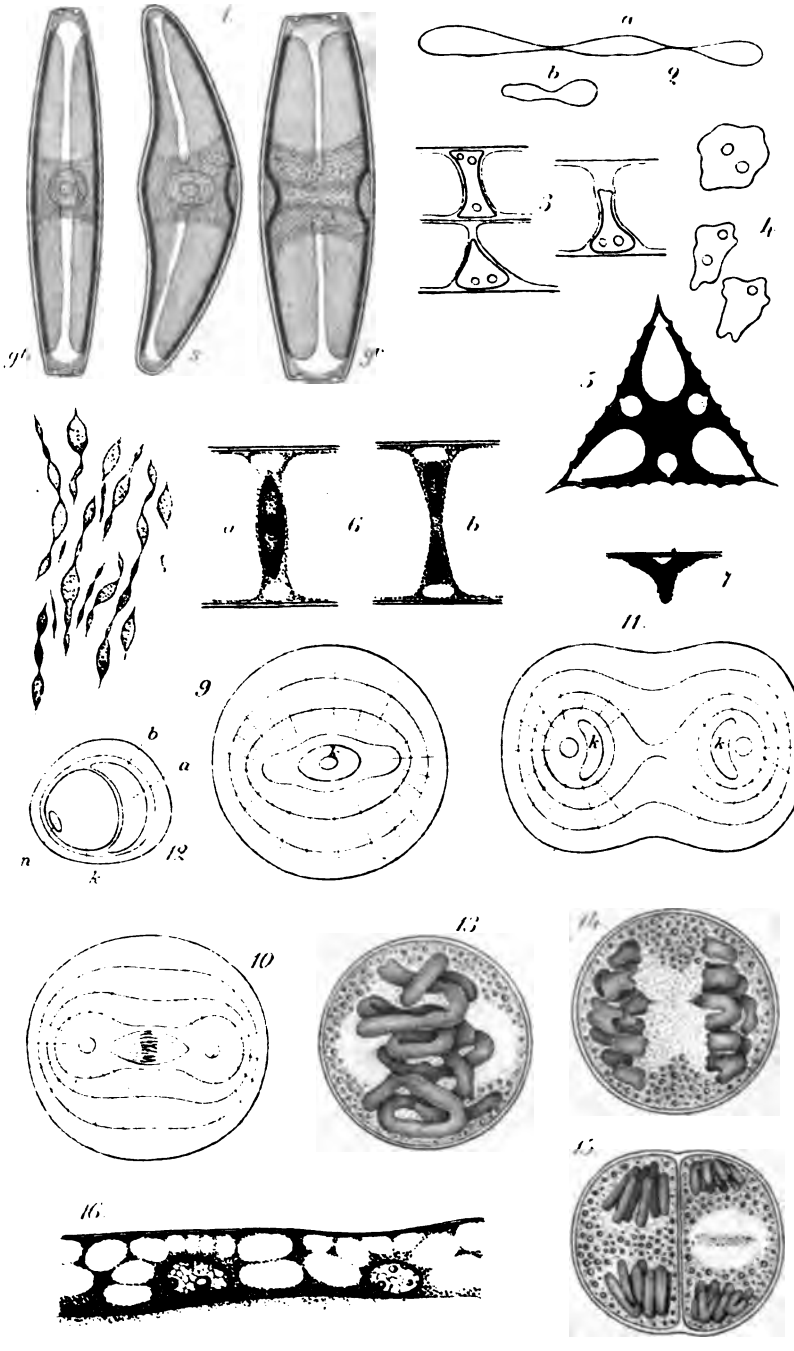
C. F. Schmidt lith



G. Berthold gez.

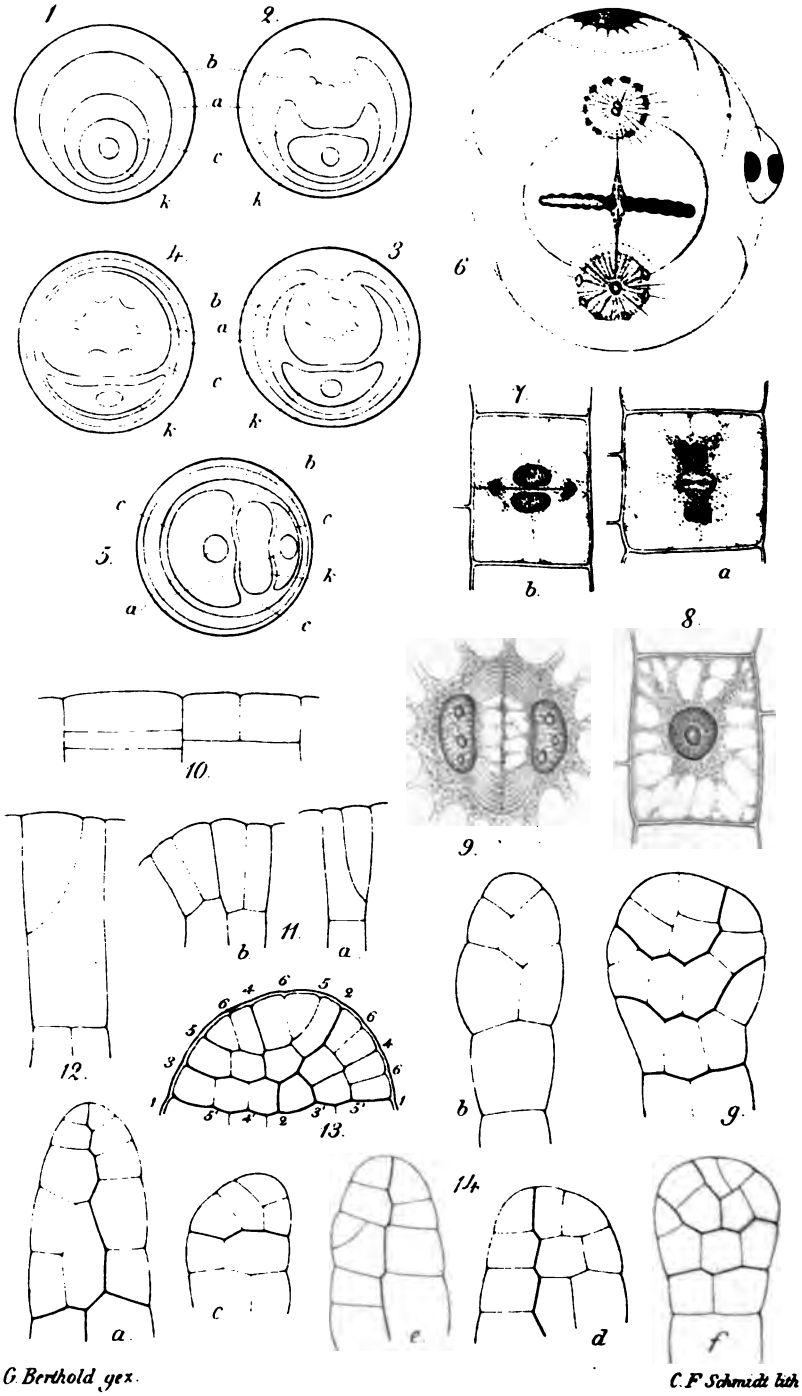
C. F. Schmidt lith.

Taf III



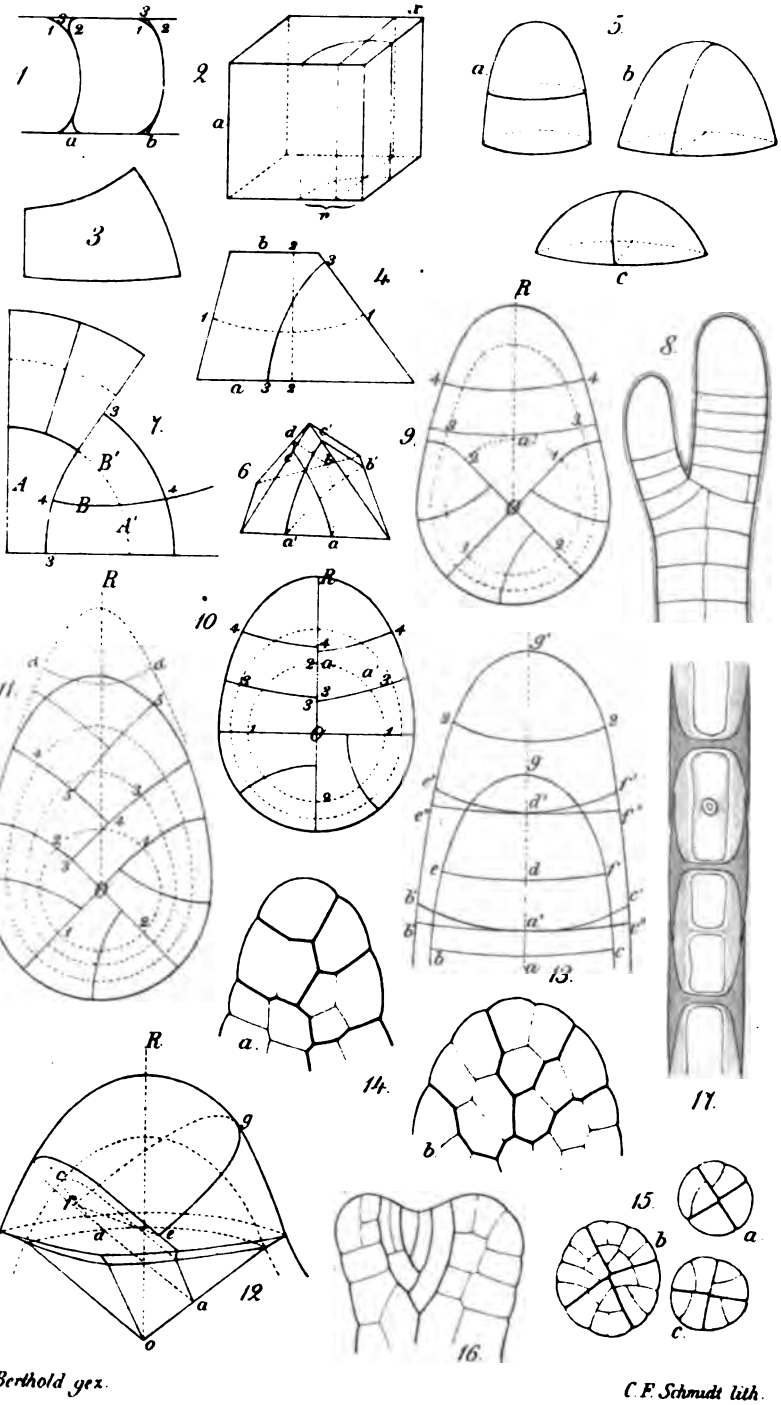
G.Berthold gez.

C.F.Schmidt lith



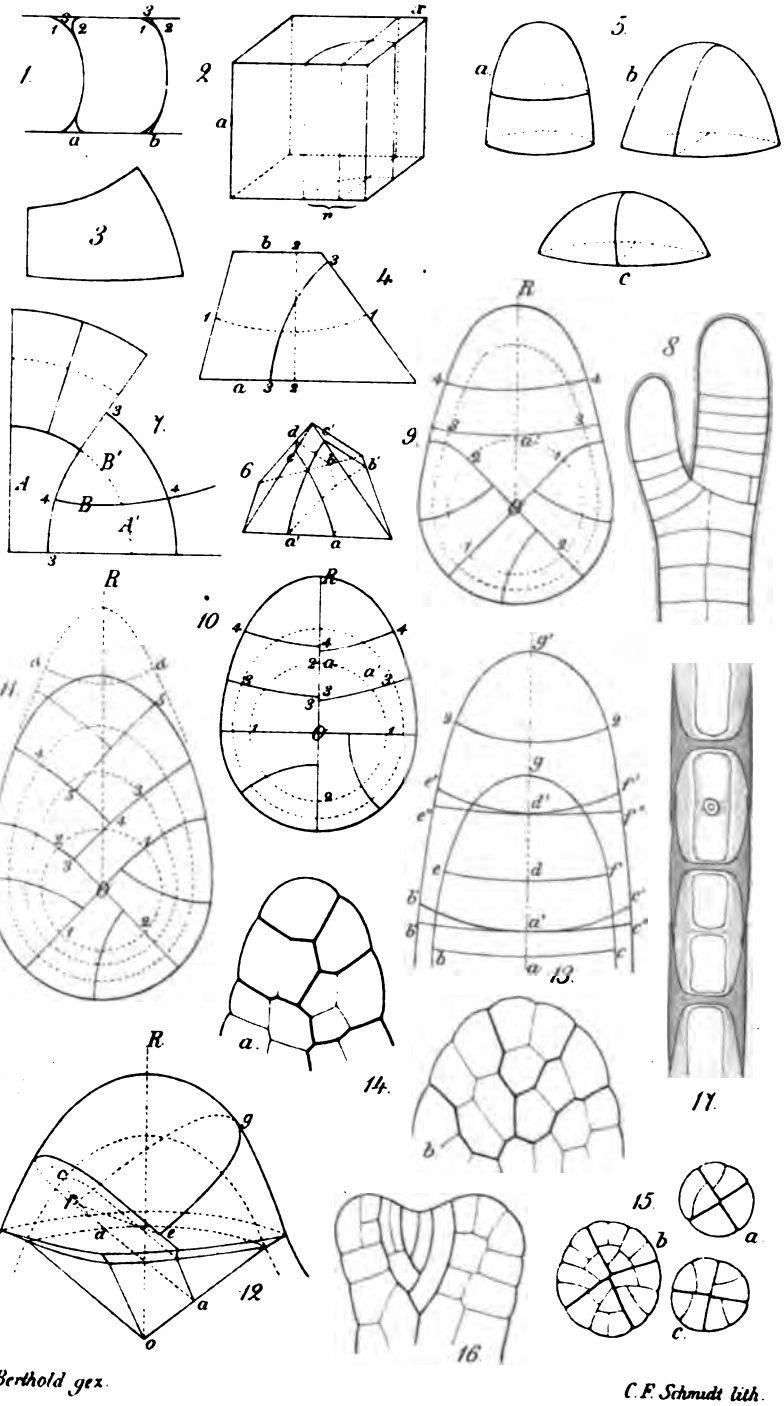
G. Berthold gez.

C. F. Schmidt lith.



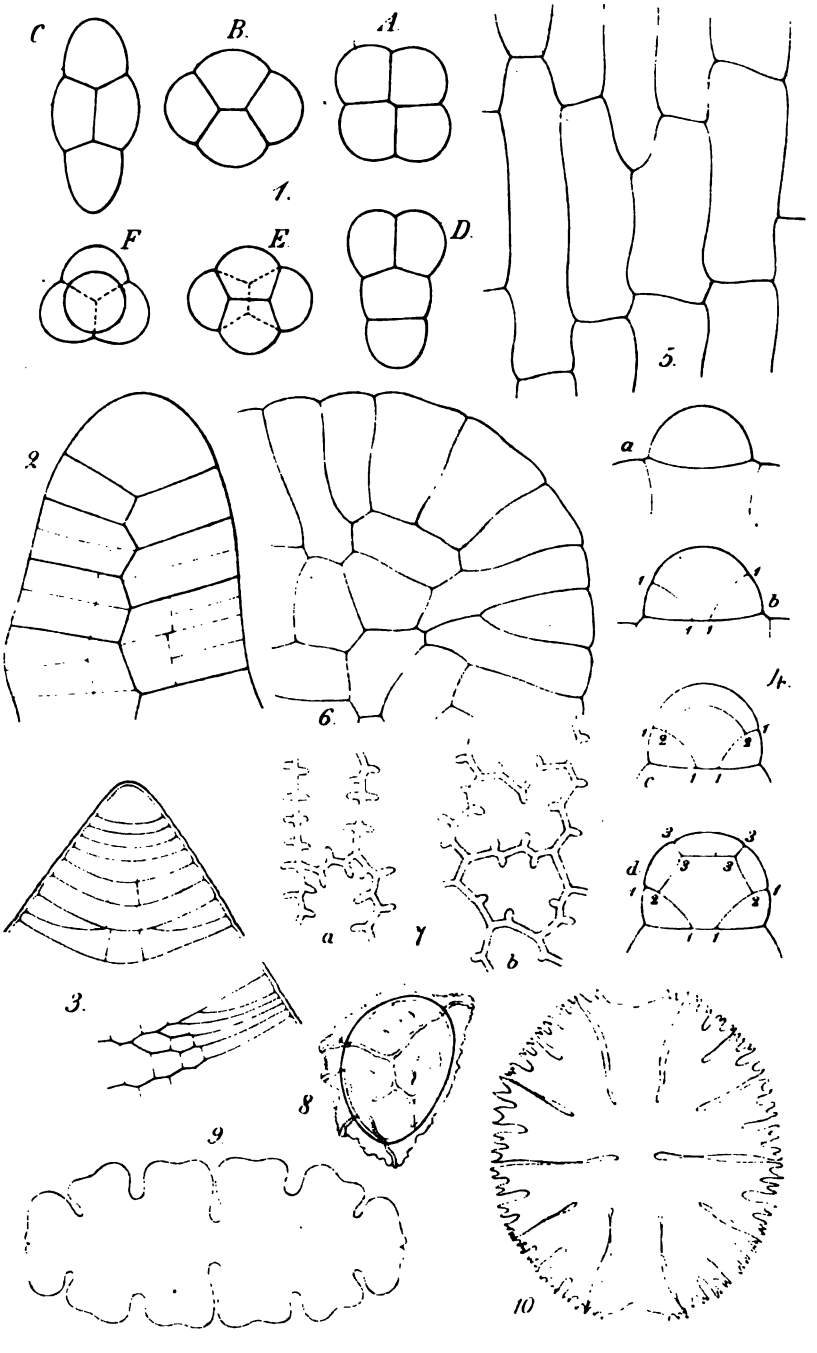
G. Berthold gez.

C. F. Schmidt lith.



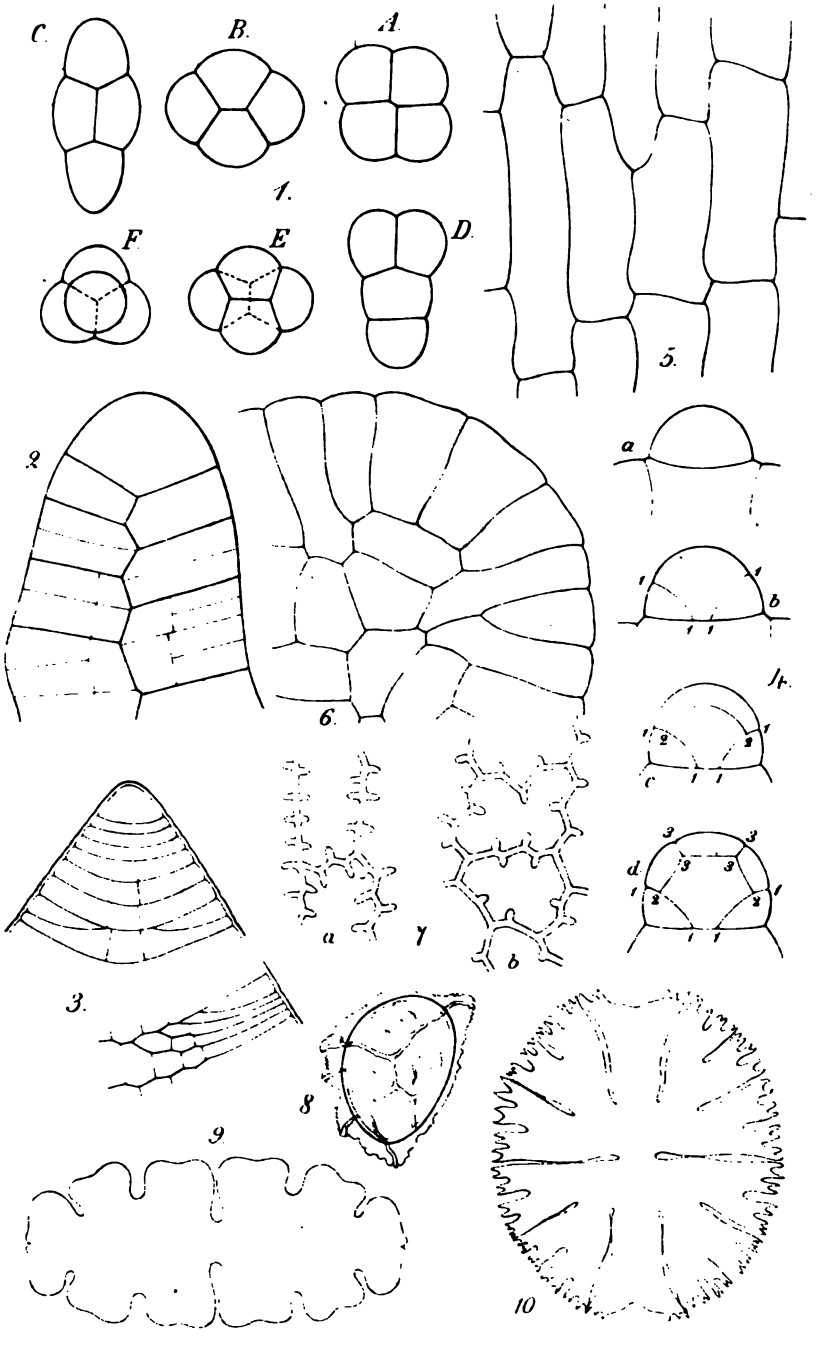
G. Berthold gez.

C.F. Schmidt lith.



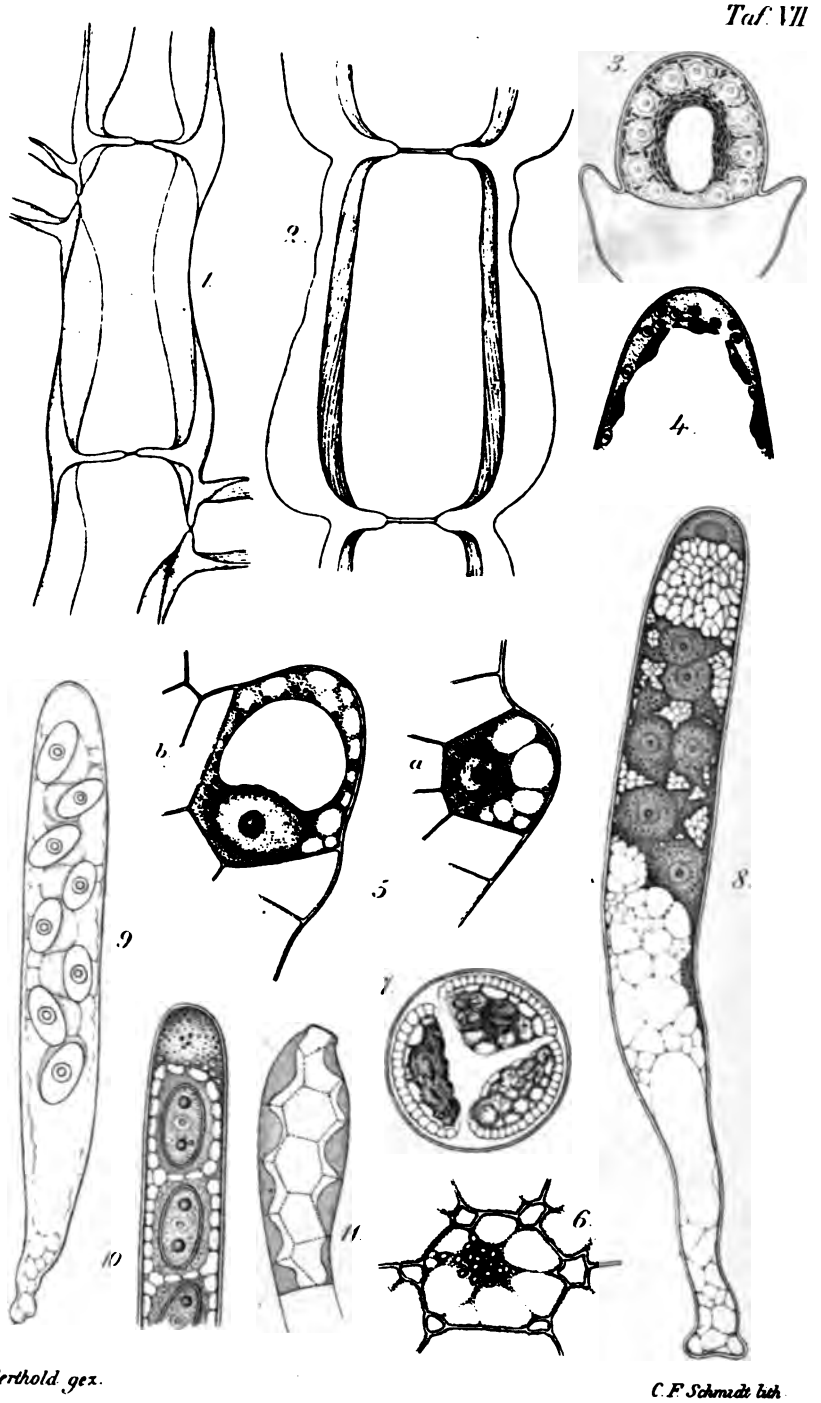
G. Berthold gez.

C. F. Schmidt lith.



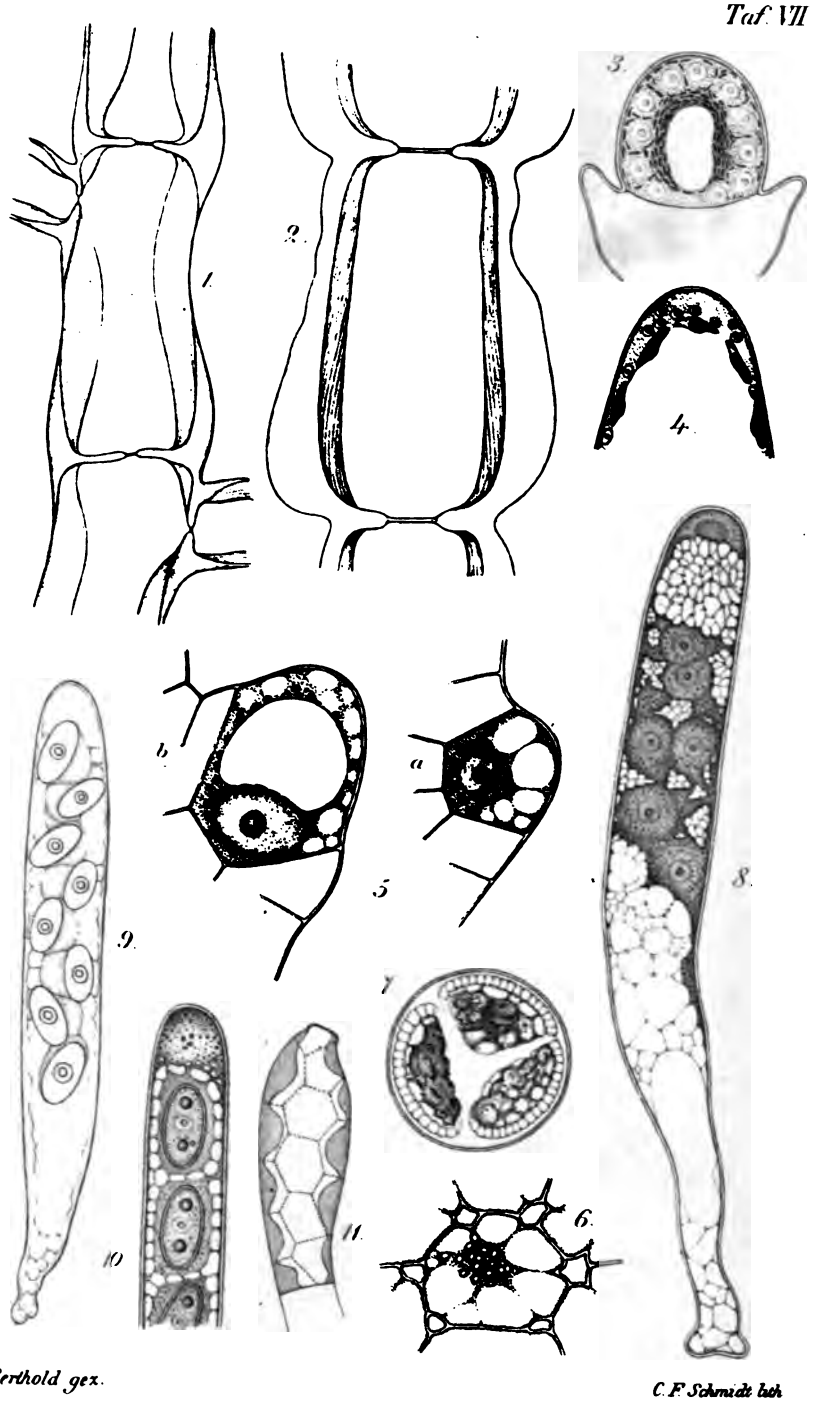
G. Berthold gez.

C. F. Schmidt lith.



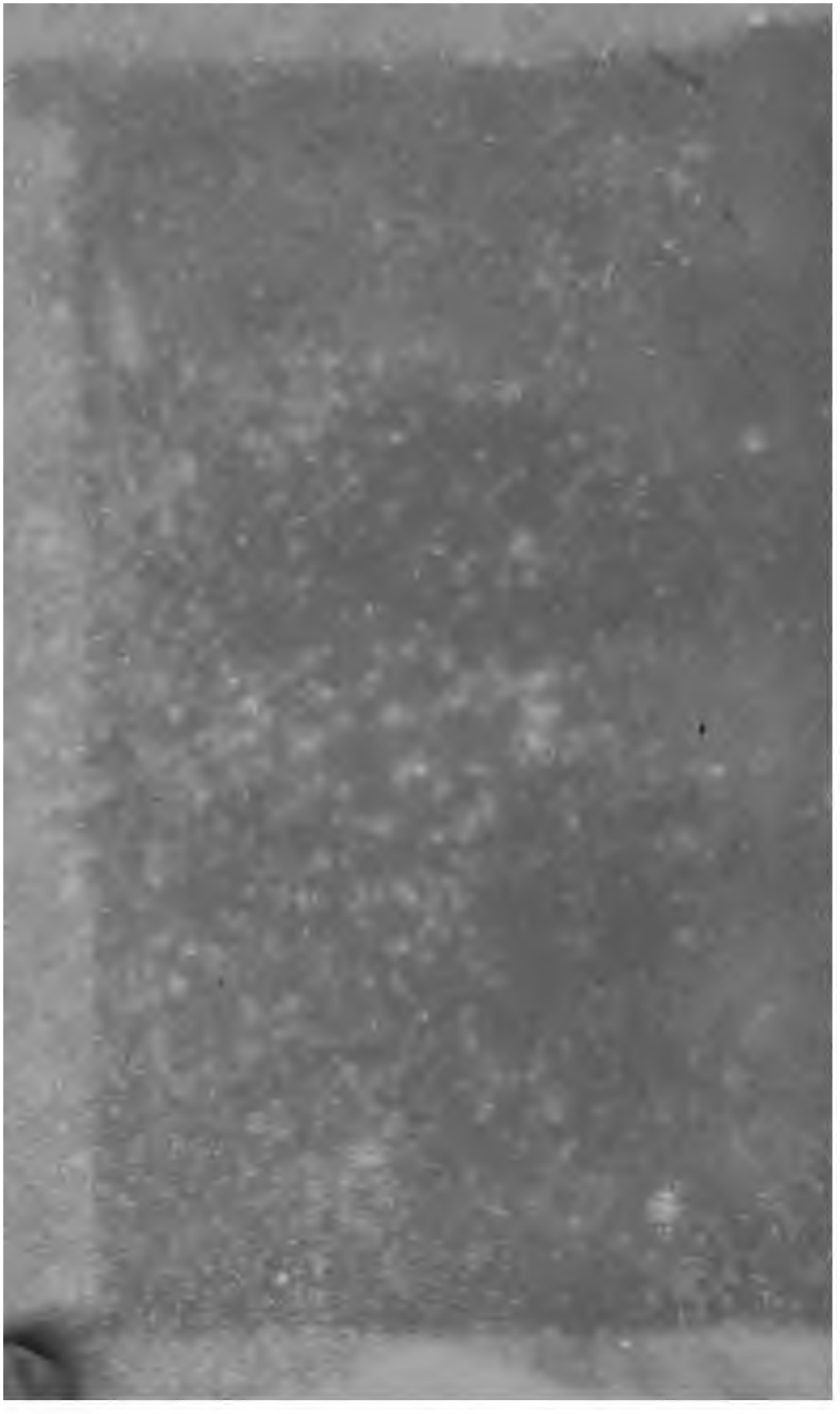
G. Berthold gez.

C. F. Schmidt lith.



G Berthold gez.

C.F. Schmidt lith

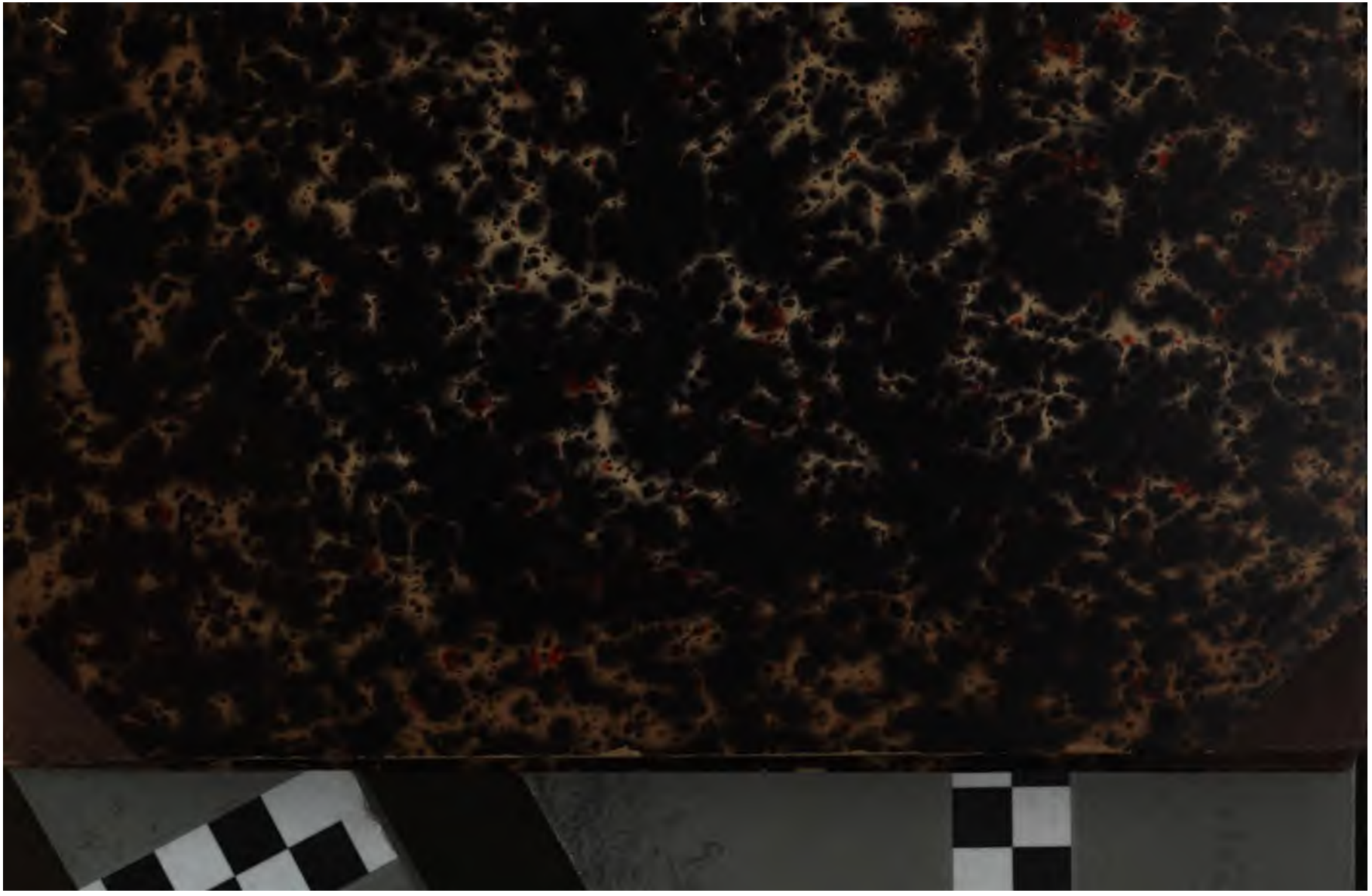


DEC 2 4 1986

QH591
B54

QH 591 .B54 C.1
Studien uber Protoplasmamechan
Stanford University Libraries

3 6105 032 332 616

DATE DUE			

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004